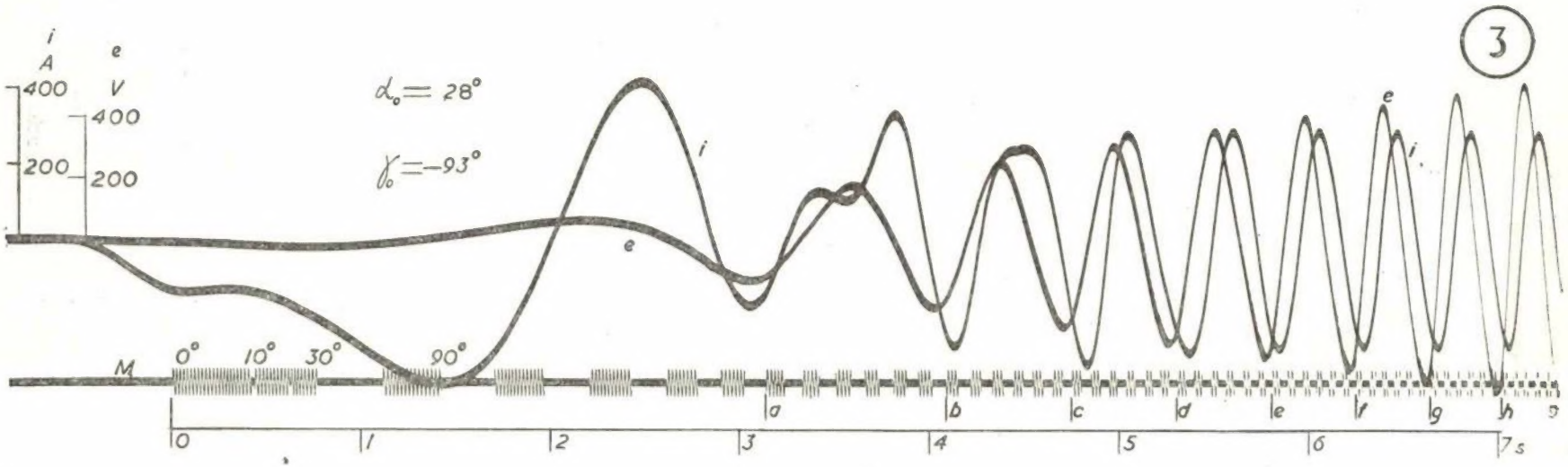


$I_{Rg} = 200$ A

$I_{Rm} = 100$ A

o seu movimento. O osciligrama 3 regista os seguintes fenómenos:

1.º — Corrente i na fase U do estator;
2.º — Tensão e nos terminais entre a fase U_m e o ponto neutro do motor;
3.º — Registo M — Marcação dos intervalos de tempo correspondentes a cada sector de 30° de rotação do motor estando o primeiro sector dividido em três subsectores de 10° cada um.

A posição $\gamma_0 = -93°$ significa que, no instante inicial do arranque do gerador, o eixo magnético do seu rotor está em atraso de 93° em relação à fase U_g do estator, o que condiciona, neste instante, um fluxo pràticamente nulo na mesma fase. Nestas condições o rotor do gerador, ao entrar em movimento, induz na fase U_g do estator uma f. e. m. que se inicia por um extremo negativo condicionando assim, na parte inicial do oscilograma, a forma como decorre a corrente i na fase u e a tensão e nos terminais da fase U_m do motor.

Nos primeiros instantes a partir do arranque do gerador a corrente i é originada sómente pela sua f. e. m. e_g. Cerca de 0,5 seg após o arranque do gerador a curva da corrente i sofre uma inflexão condicionada pelo aparecimento da f. e. m. do motor, e_m, no início do seu arranque assinalado no registo M.

As duas máquinas entram pràticamente em síncronismo ao fim da quarta volta do motor (ponto d do Registo M), cerca de 5 seg após o seu arranque.

4. — *Oscilograma 4*

Grandezas do estado de repouso inicial

$$\alpha_0 = 29° \qquad \gamma_0 = -31°$$

Correntes de excitação

$$I_{Rg} = 200\ A \qquad I_{Rm} = 100\ A$$

As excitações dos rotores são iguais às indicadas para o oscilograma 3. A posição inicial relativa dos rotores ($\alpha_0 = 29°$) é sensìvelmente a mesma do que a observada no oscilograma 3. As condições de arranque são portanto pràticamente as mesmas. O ângulo γ_0 é porém diferente e tem o valor $\gamma_0 = -31°$.

Tomou-se para origem do tempo ($t = 0$) neste oscilograma o instante em que o gerador iniciou o seu movimento.

O oscilograma 4 regista os seguintes fenómenos:

1.º — Corrente i na fase U do estator;
2.º — Registo G — Marcação dos intervalos de tempo correspondentes a cada sector de 30° de rotação do gerador estando o primeiro sector dividido em três subsectores de 10° cada um;
3.º — Registo M — Marcação dos intervalos de tempo como no registo G mas correspondentes ao motor.

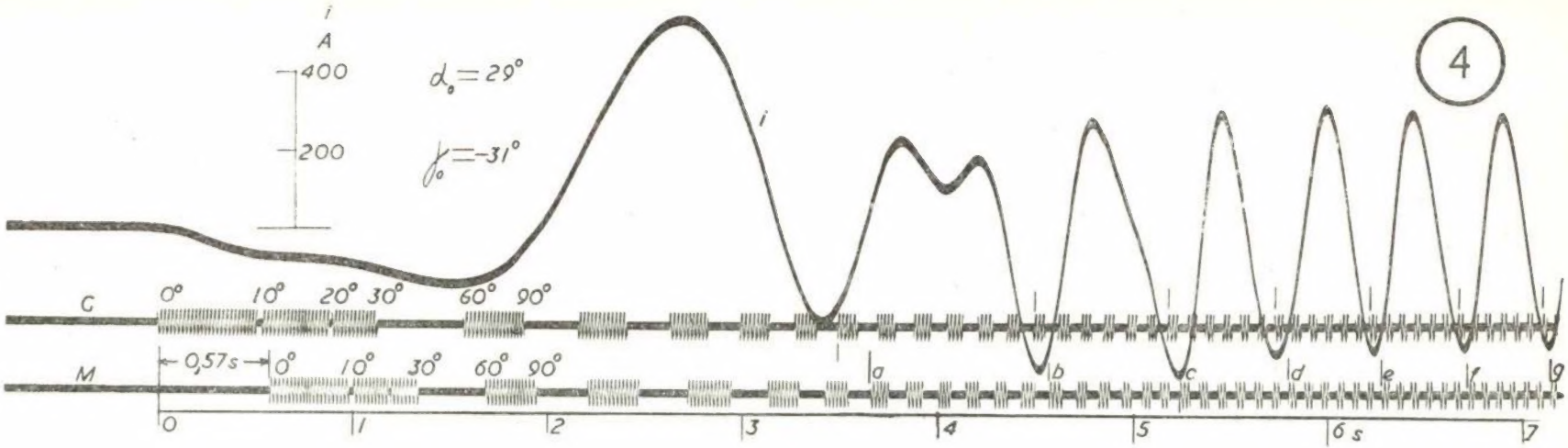
A posição $\gamma_0 = -31°$ significa que, no instante inicial do arranque do gerador, o eixo magnético do seu rotor está em atraso de 31° em relação à fase U_g do seu estator o que condiciona um valor inicial negativo da f.e.m. induzida na mesma fase.

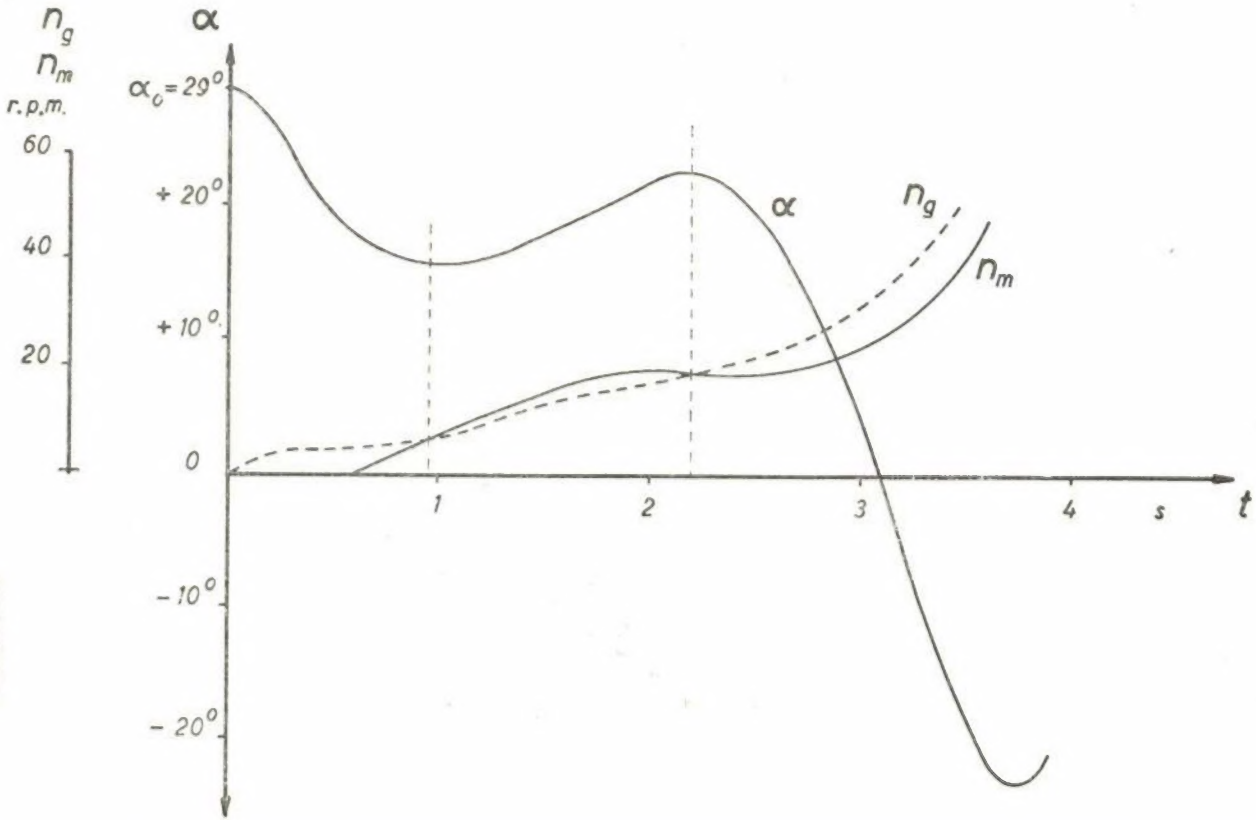
Nos primeiros instantes a partir do arranque do gerador a corrente i é portanto negativa. Cerca de 0,6 segundos após o arranque do gerador dá-se o arranque suave do motor. A corrente i na fase U do oscilograma 4 decorre de uma maneira análoga à já apreciada no oscilograma 1. A inversão de fase ocorre nestes dois oscilogramas durante a segunda volta do motor correspondente ao intervalo a — b marcado no registo M.

A forma da corrente i durante a inversão de fase é que se apresenta diferente nos dois oscilogramas.

Esta forma da corrente i durante a inversão de fase depende da posição relativa entre o eixo magnético dos rotores quando passam pela concordância ($\alpha = 0$) e o eixo magnético da fase percorrida pela mesma corrente.

A partir dos registos G e M obtiveram-se os gráficos, associados ao oscilograma 4, que representam os valores instantâneos das velocidades angulares dos rotores, n_g e n_m, expressas em rotações por minuto e o ângulo de desfasagem α entre os mesmos rotores em função do tempo. Verifica-se que os eixos magnéticos dos dois rotores passam pela concordância ($\alpha = 0$) com velocidades angulares crescentes que estão entre si na relação aproximada $\frac{n_m}{n_g} \cong 0{,}78$.





$I_{Rg} = 200$ A

$I_{Rm} = 100$ A

5. — *Oscilograma 5*

Grandezas do estado de repouso inicial

$$\alpha_0 = 0^\circ \qquad \gamma_0 = 26^\circ$$

Correntes de excitação

$$I_{Rg} = 200\ A \qquad I_{Rm} = 100\ A$$

As excitações dos rotores são iguais às indicadas para o oscilograma 1. Na posição inicial de repouso os eixos magnéticos dos rotores encontram-se na posição de concordância ($\alpha = 0$).

Tornou-se para origem do tempo ($t = 0$) neste oscilograma o instante em que o gerador iniciou o seu movimento.

O oscilograma 5 regista os seguintes fenómenos:

1.° — Corrente i na fase U do estator;

2.° — Registo G — Marcação dos intervalos de tempo correspondentes a cada sector de 30° de rotação do gerador estando o primeiro sector dividido em três subsectores de 10° cada um;

3.° — Registo M — Marcação dos intervalos de tempo como no registo G mas correspondentes ao motor.

A partir destes dois últimos registos obtiveram-se os gráficos que representam os valores instantâneos das velocidades angulares dos rotores, n_g e n_m, expressas em rotações por minuto e o ângulo de desfasagem α entre os mesmos rotores em função do tempo. Estes gràficos encontram-se associados ao oscilograma 5.

A posição inicial caracterizada por $\gamma_0 = +26^\circ$ condiciona que nos primeiros instantes a partir do arranque do gerador a corrente *i* na fase *U* é positiva e crescente.

O arranque do motor, evidenciado no registo M, tem lugar 0,7 s depois do arranque do gerador.

Devido ao facto de os rotores se encontrarem inicialmente em concordância ($\alpha_0 = 0$), resulta que o arranque inicial do rotor do gerador condiciona um avanço do seu eixo magnético em relação ao rotor do motor, isto é, o ângulo α entre os eixos magnéticos dos rotores torna-se inicialmente negativo crescendo o seu valor absoluto até passar por um extremo $\alpha = -13^\circ$. Este extremo ocorre no instante em que as velocidades angulares dos rotores passam pela primeira vez pelo mesmo valor. A partir deste instante o oscilograma e os gráficos a ele associados mostram que a velocidade angular do motor, mantendo-se superior à do gerador, cresce até atingir um máximo relativo $n_m = 30$ r.p.m. na altura em que o gerador rodou de $\alpha_g = 120^\circ$ e atingiu uma velocidade angular correspondente a $n_g = 22$ r.p.m.

Este comportamento das velocidades do motor e do gerador condiciona a passagem por zero do ângulo α, de valores negativos para positivos, o que significa a passagem pela concordância dos eixos magnéticos dos dois rotores.

Tomando como referência o campo girante do rotor do gerador verifica-se, nestas condições, um deslocamento crescente do campo girante do rotor do motor no sentido dos avanços. O crescimento rápido da desfasagem interna φ_0 durante a primeira volta do motor, provoca um deslocamento no sentido dos atrasos do campo girante originado em cada máquina pelas correntes do seu estator.

Em virtude destas circunstâncias existe a possibilidade de o campo girante, originado pelas correntes do estator do motor, se colocar transitòriamente em atraso em relação ao campo girante do seu rotor condicionando assim uma mudança de sinal do respectivo binário. Esta mudança de sinal do binário dá lugar a um movimento retardado do rotor do motor que se evidencia nìtidamente no registo M do oscilograma e no gráfico associado, entre dois extremos da curva $n_m = f(t)$.

Por sua vez o movimento relativo do campo girante, originado pelas correntes do estator de cada máquina, em relação aos circuitos do respectivo rotor condiciona a região das correntes de grande amplitude postas em evidência no oscilograma durante a primeira volta do motor.

O movimento retardado do rotor do motor entre os dois extremos da curva $n_m = f(t)$ condiciona agora um deslocamento do seu campo girante de maneira a colocar-se em atraso em relação ao campo girante do seu estator originando assim, de novo, um binário acelerador.

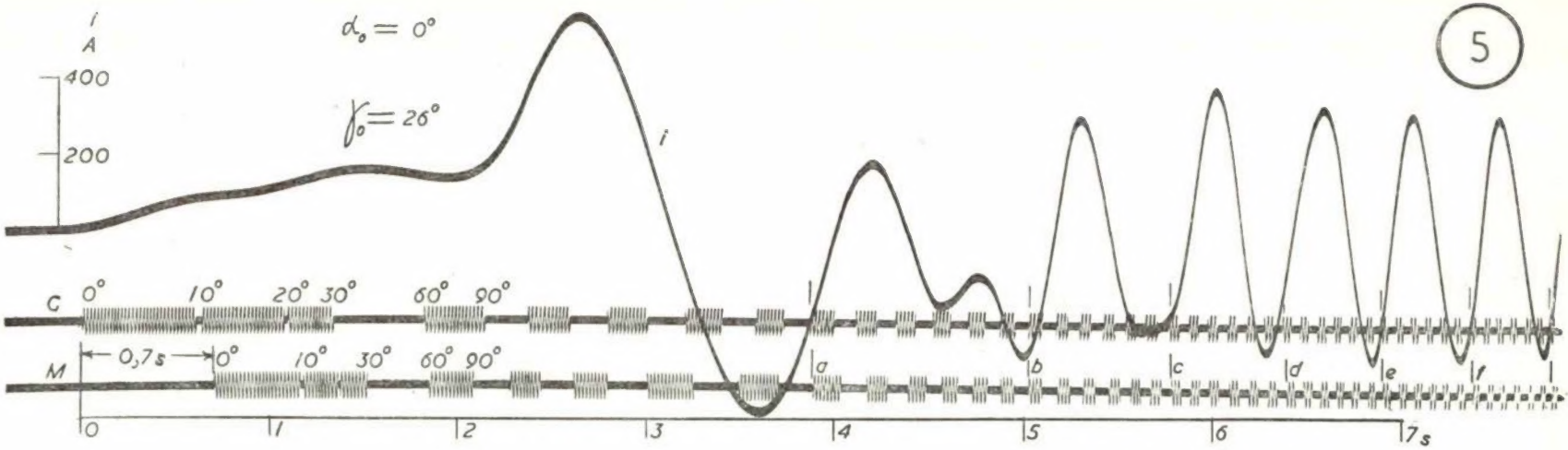
6. — *Oscilograma 6*

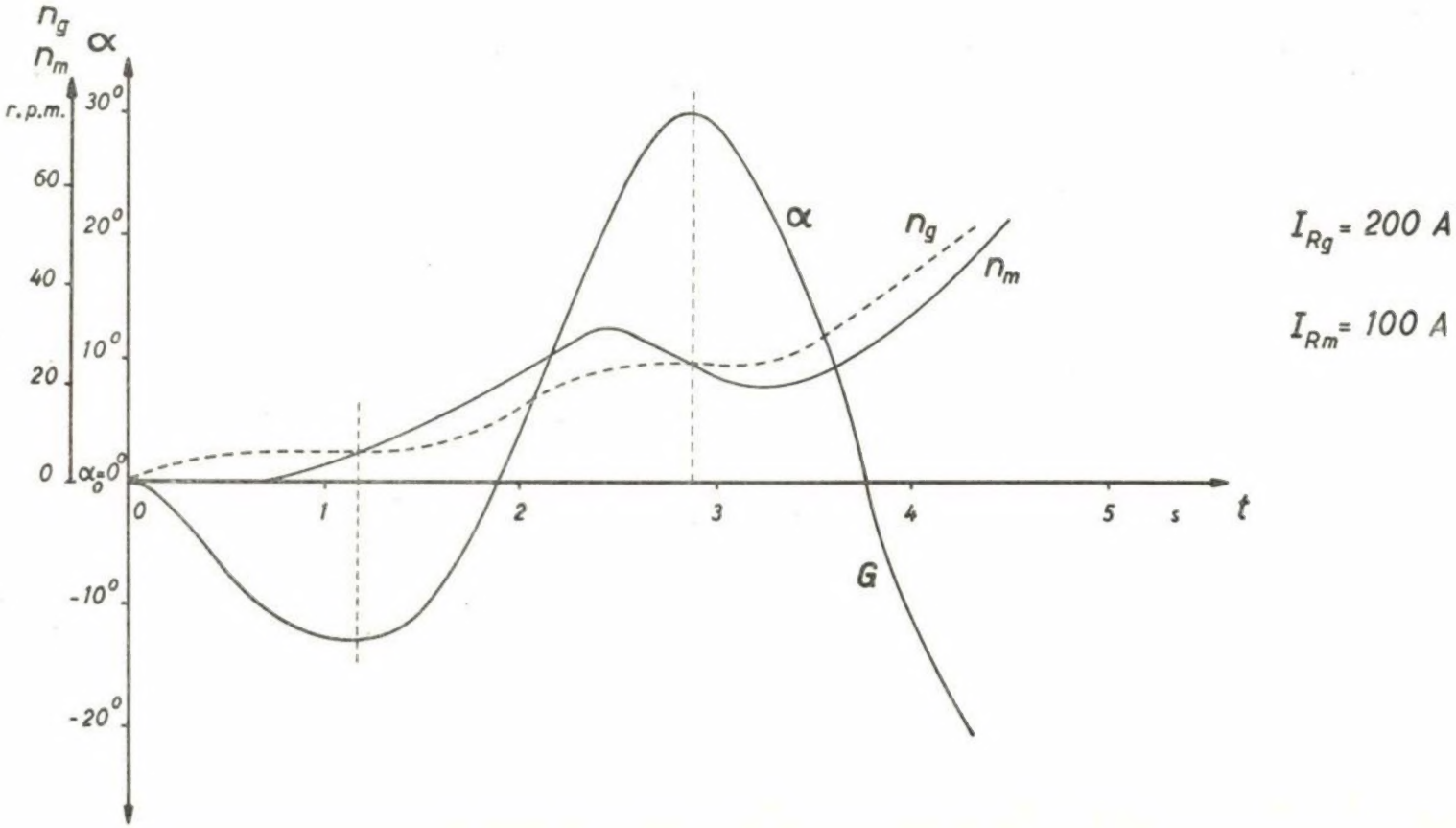
Grandezas do estado de repouso inicial

$$\alpha_0 = +62^\circ \qquad \gamma_0 = 19^\circ$$

Correntes de excitação

$$I_{Rg} = 200\ A \qquad I_{Rm} = 100\ A$$


5
i
A
400
200
$\alpha_0 = 0°$
$\gamma_0 = 26°$
i
C
0°
10°
20°
30°
60°
90°
M
0,7 s
0°
10°
30°
60°
90°
a
b
c
d
e
f
0
1
2
3
4
5
6
7 s


n_g
n_m
α
r.p.m.
30°
60
20°
40
10°
20
0
$\alpha_0 = 0°$
-10°
-20°
0
1
2
3
4
5
s
t
α
n_g
n_m
G
I_{Rg} = 200 A
I_{Rm} = 100 A

As excitações dos rotores são iguais às indicadas para o oscilograma 5. Na posição inicial de repouso o rotor do motor encontrava-se em avanço de $\alpha_0 = 62^0$ sobre o rotor do gerador. Tomou-se para origem do tempo ($t = 0$) neste oscilograma o instante em que o gerador iniciou o seu movimento.

O oscilograma (6) regista os seguintes fenómenos:

1.º — Corrente i na fase u do estator;
2.º — Registo G — Marcação dos intervalos de tempo correspondentes a cada sector de 30º de rotação do gerador estando o primeiro sector dividido em três subsectores de 10º cada um;
3.º — Registo M — Marcação dos intervalos de tempo como no registo G mas correspondentes ao motor.

A partir destes dois últimos registos obtiveram-se os gráficos, associados ao oscilograma, que representam os valores das velocidades angulares dos rotores, n_g e n_m, expressas em rotações por minuto e o ângulo de desfasagem α entre os mesmos rotores em função do tempo.

A posição inicial do rotor do gerador em relação à fase U caracterizada por $\gamma_0 = +19^0$ condiciona que nos primeiros instantes a partir do arranque do gerador a corrente i na fase U é positiva e crescente. Cerca de 1,7 seg. após o arranque do gerador a curva da corrente i sofre uma inflexão condicionada pelo aparecimento da f. e. m. do motor e_m, no início do seu arranque assinalado no registo M.

Devido ao facto de inicialmente o rotor do motor se encontrar em avanço de $\alpha_0 = 62^0$ sobre o rotor do gerador, resulta que o arranque do gerador provoca uma diminuição de α. Foi necessário que o rotor do gerador rodasse de cerca de 26º durante 1,7 segundos para que o campo girante do estator do motor assumisse grandeza e posição em relação ao campo do rotor que permitissem o seu arranque.

Durante o intervalo de 1,7 segundos após o arranque do gerador, este rodou accionado pela turbina a vapor e travado pelo binário electrodinâmico que ele próprio criou através das suas correntes que deram lugar a perdas nos circuitos das máquinas. Este binário tornou-se suficientemente forte para que a velocidade do gerador não aumentasse antes do arranque do motor. Ao dar-se este arranque originou-se a possibilidade de transferência de energia eléctrica do gerador para energia cinética do rotor do motor com o aparecimento de novas forças electromotrizes que provocaram uma diminuição das correntes e portanto uma diminuição das perdas nas máquinas. O oscilograma mostra como, nestas circunstâncias, a velocidade do gerador e do motor, após o arranque deste, passam a aumentar lentamente até se dar a inversão de fase na corrente durante a 2.ª volta do gerador e depois dos rotores passarem pela posição de concordância ($\alpha = 0$).

É de notar que a posição inicial, $\alpha_0 = 62^0$, condicionou a lentidão do arranque, mostrando o oscilograma que o valor máximo atingido pela amplitude da corrente ($i_{máx} = 410$ A) é inferior aos valores correspondentes dos oscilogramas anteriores.

7. — *Oscilograma 7*

Grandezas do estado de repouso inicial

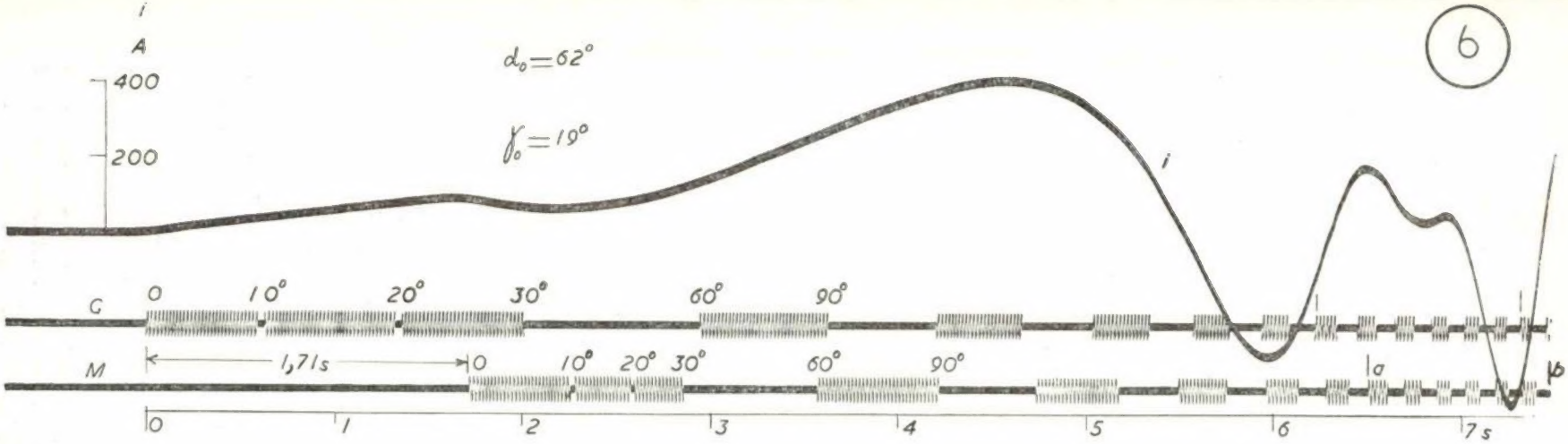
$$\alpha_0 = 21^0 \quad \gamma_0 = -50^0$$

Correntes de excitação

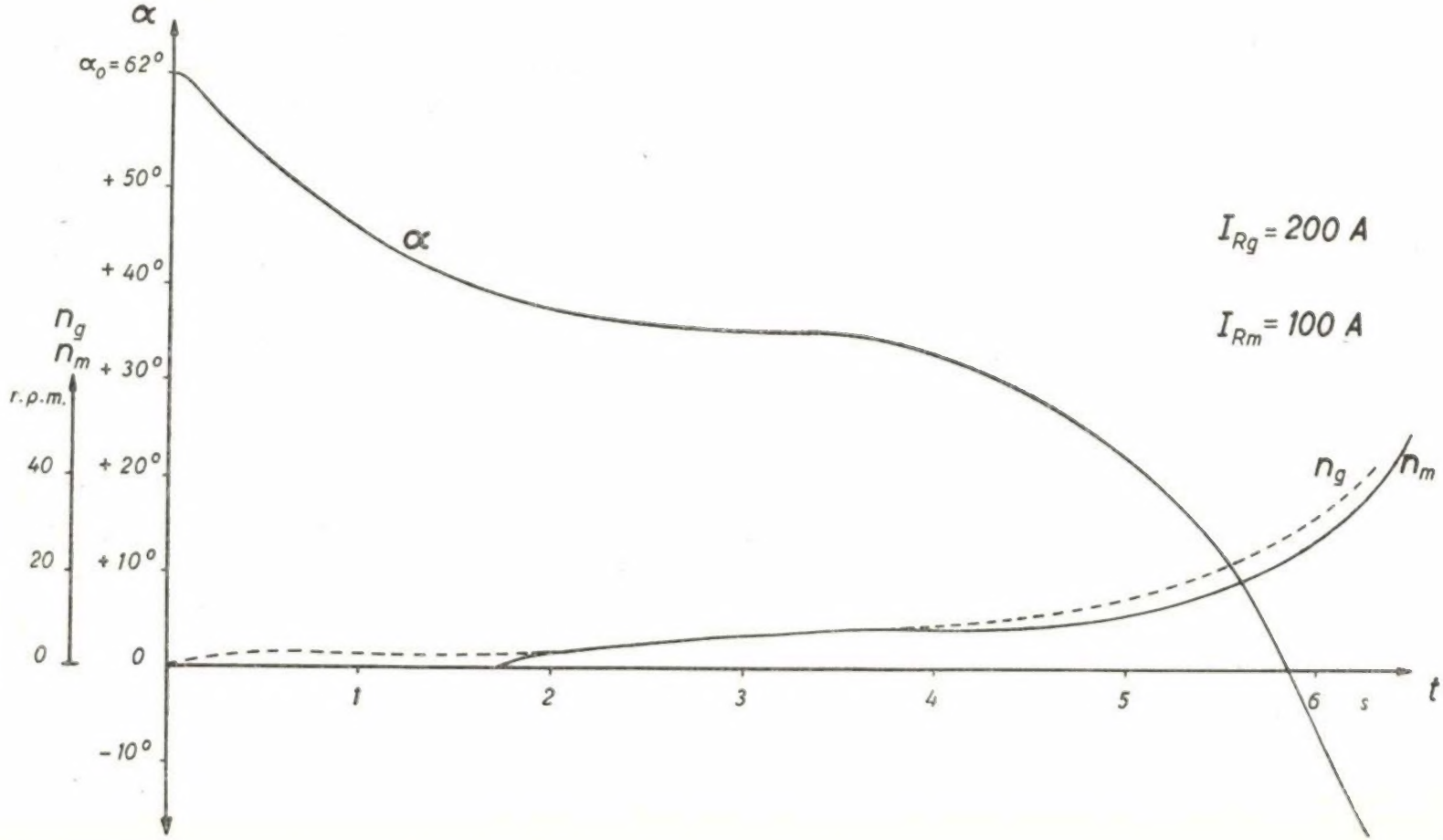
$$I_{Rg} = 200 \text{ A} \qquad I_{Rm} = 100 \text{ A}$$

Este oscilograma representa as três correntes no circuito trifásico constituído pelo estator do gerador ligado em série com o estator do motor, durante os primeiros 7 segundos de arranque. A corrente na fase U, registada em todos os oscilogramas anteriores, 1 a 6, encontra-se assinalada neste oscilograma 7 com a letra i.

Na posição inicial de repouso o rotor do moor encontrava-se em avanço de $\alpha_0 = 21^0$ sobre o rotor do gerador e este em atraso de $\gamma_0 = -50^0$ em relação à fase U_g do estator. Estas condições iniciais estão muito próximas das indicadas para o oscilograma 4 que eram $\alpha_0 = 29^0$ e $\gamma_0 = -31^0$. Este facto explica que a corrente i na fase U apresenta pràticamente a mesma forma nos dois oscilogramas 4 e 7. A forma de cada corrente por fase durante a 2.ª volta do motor (inversão de fase) depende da posição relativa da respectiva fase em relação ao eixo magnético dos rotores quando estes passam pela concordância. O oscilograma mostra o comportamento do sistema trifásico das correntes do estator na região inicial do arranque, na região das grandes


i
A
400
200
$\alpha_0 = 62°$
$\gamma_0 = 19°$
i
G
0
10°
20°
30°
60°
90°
M
1,71s
0
10°
20°
30°
60°
90°
a
b
0
1
2
3
4
5
6
7 s

6


α
$\alpha_0 = 62°$
+ 50°
+ 40°
+ 30°
+ 20°
+ 10°
0
- 10°
α
$I_{Rg} = 200$ A
$I_{Rm} = 100$ A
n_g
n_m
r.p.m.
40
20
0
n_g
n_m
1
2
3
4
5
6
s
t

intensidades, na inversão de fase e, finalmente, depois de passados 6 s a partir do arranque do gerador, na região em que as máquinas entraram pràticamente em sincronismo. Nesta última região em que tem lugar a relação $X \frac{n}{n_s} >>> R$, verifica-se, de acordo com a «Estrutura Teórica», que as amplitudes das três correntes se mantém constantes e independentes da velocidade comum das máquinas.

8. — *Oscilograma 8*

Grandezas do estado de repouso inicial

$$\alpha^0 = 30^0 \quad \gamma_0 = -30^0$$

Correntes de excitação

$$I_{Rg} = 200\ A \quad I_{Rm} = 100\ A$$

Este oscilograma representa as três tensões por fase no motor durante os primeiros 7 segundos do arranque. Desprezando a resistência e a dispersão por fase, estas três tensões representam as f. e. m. induzidas em cada fase pelo fluxo resultante do estator e do rotor.

Cada laço de medida do oscilógrafo foi devidamente intercalado entre uma fase do motor e o seu ponto neutro.

Na posição inicial de repouso o rotor do motor encontrava-se em avanço de $\alpha_0 = 30^0$ sobre o rotor do gerador e este em atraso ($\gamma_0 = -30^0$) em relação à fase U_g do seu estator.

O oscilograma mostra como as três tensões por fase, constituindo um sistema trifásico em evolução, aumentam em frequência e consequentemente em amplitude durante os primeiros 7 segundos de arranque.

O oscilograma contém uma escala de tensão e uma escala de tempo.

9. — *Oscilograma 9*

Grandezas do estado de repouso inicial

$$\alpha_0 = 23^0 \quad \gamma_0 = -13^0$$

Correntes de excitação

$$I_{Rg} = 100\ A \quad I_{Rm} = 50\ A$$

As excitações dos rotores ($I_{Rg} = 100$ A, $I_{Rm} = 50$ A) são respectivamente iguais a metade dos valores indicados para os oscilogramas anteriores. Na posição inicial de repouso o rotor do motor encontrava-se em avanço de $\alpha_0 = 23^0$ sobre o rotor do gerador e este em atraso de $\gamma_0 = -13^0$ em relação à fase U_g do seu estator. Tomou-se para origem do tempo ($t = 0$) o instante em que o gerador iniciou o seu movimento.

O oscilograma 9 regista os seguintes fenómenos:

1.º — Corrente *i* na fase *U* do estator;

2.º — Registo G — Marcação dos intervalos de tempo correspondentes a cada sector de 30° de rotação do gerador estando o primeiro sector dividido em três subsectores de 10° cada um;

3.º — Registo M — Marcação dos intervalos de tempo correspondentes a cada sector de 30° de rotação do motor estando o primeiro sector dividido em três subsectores de 10° cada um.

A partir destes dois últimos registos obtiveram-se as seguintes grandezas em função do tempo e durante cerca de 4 segundos após o arranque do gerador:

a) velocidade angular n_g do gerador expressa em rotações por minuto;

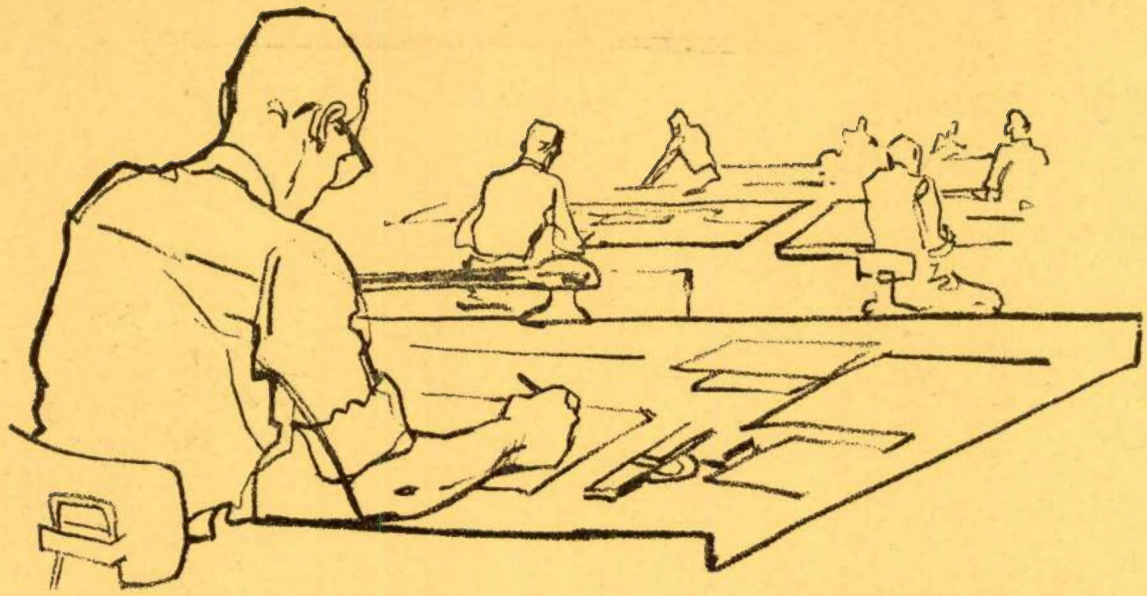
b) velocidade angular do motor n_m expressa em rotações por minuto;

c) ângulo α de desfasagem entre os dois rotores.

No registo G encontra-se assinalado o instante em que o gerador iniciou o seu movimento de rotação. Verifica-se através dos registos G e M do oscilograma que, enquanto o gerador roda os primeiros 36° durante 0,75 seg., atingindo a velocidade angular de 12 r. p. m., o rotor do motor se mantém ainda em repouso. Terminado este intervalo de tempo dá-se o arranque do motor que acelera ràpidamente e não consegue entrar em sincronismo com o gerador dentro dos 7 segundos em que decorre o oscilograma. Este facto é assinalado pela curva da corrente *i* que na parte final do oscilograma evidencia batimentos condicionados pela falta de sincronismo das duas máquinas.

Depois do arranque do motor o oscilograma mostra a região das grandes intensidades devidas ao aumento rápido da desfasagem interna γ_0.

APA



CATERPILLAR* + S.T.E.T.

O BINÓMIO MAIS VANTAJOSO PARA QUALQUER PROBLEMA DE MOVIMENTAÇÃO DE TERRAS

CATERPILLAR* O fabricante mais especializado, em todo o mundo, de tractores de rasto e de rodas, pás mecânicas de rasto e rodas (traxcavators*), motoniveladoras, moto-scrapers, escarificadores, "bulldozers", motores industriais e marítimos, grupos electrogéneos.

S.T.E.T.

SOCIEDADE TECNICA DE EQUIPAMENTOS E TRACTORES, S.A.R.L.

DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO EM PORTUGAL CONTINENTAL, ILHAS ADJACENTES, CABO VERDE E GUINÉ

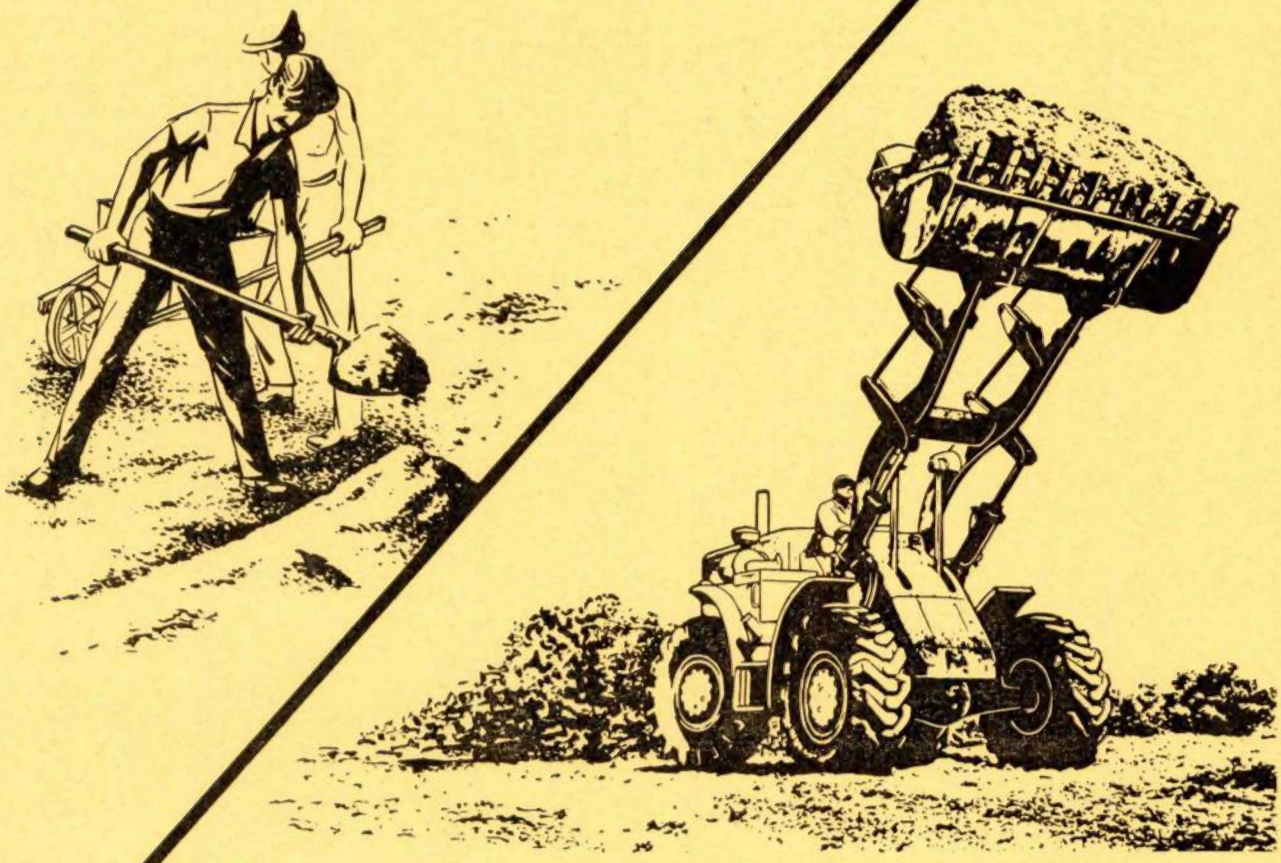
ASSISTÊNCIA — REPARAÇÕES — PEÇAS GENUÍNAS

PRIOR VELHO — SACAVÉM
TELEF.: 251 0001/4 — TELEG.: «STETRA» — APARTADO 1351
LISBOA

*«CATERPILLAR» E «TRAXCAVATOR» SÃO MARCAS REGISTADAS DE CATERPILLAR TRACTOR CO. — PEORIA, ILLINOIS — E. U. A.

DA PÁ
CLÁSSICA
E DO CARRINHO
DE MÃO...

APA



...À
PÁ MECÂNICA
(TRAXCAVATOR*)
CATERPILLAR*

TODO UM CAMINHO PERCORRIDO NA PROCURA DA MELHOR REALIZAÇÃO DO TRABALHO — DA MANEIRA MAIS EFICIENTE, MAIS ECONÓMICA E MAIS LUCRATIVA — PARA UMA MELHOR SATISFAÇÃO DAS NECESSIDADES HUMANAS.

ACTUALMENTE, EM QUALQUER TRABALHO DE

cerâmicas, minas e pedreiras,

A PALAVRA DA ORDEM É

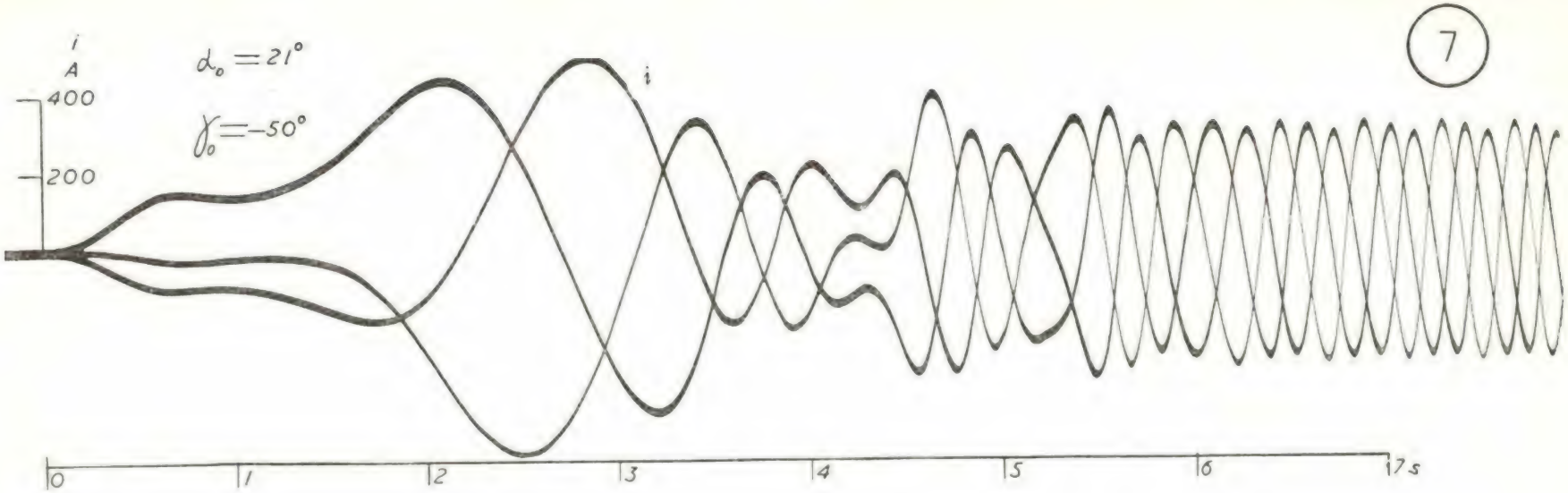
CATERPILLAR*

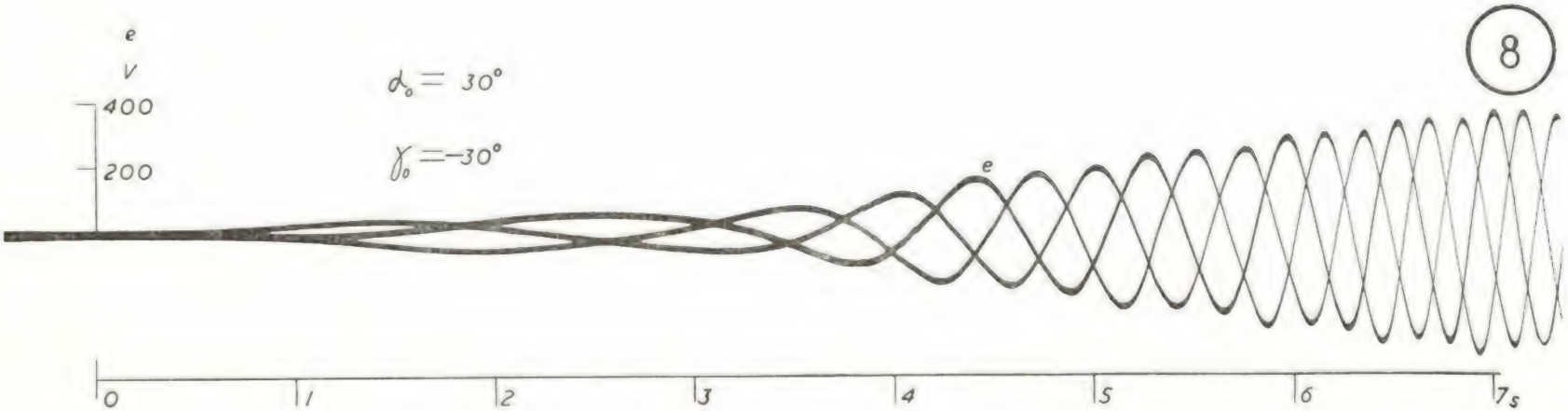
DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO:

S.T.E.T.

SOCIEDADE TÉCNICA DE EQUIPAMENTOS E TRACTORES, S.A.R.L.
PRIOR VELHO — SACAVÉM
TELEF. 251 0001/4 — TELEG. «STETRA» — APARTADO 1351 — LISBOA

* «CATERPILLAR» E «TRAXCAVATOR» SÃO MARCAS REGISTADAS DE CATERPILLAR TRACTOR CO. — PEORIA, ILLINOIS — E. U. A.





$I_{Rg} = 200$ A

$I_{Rm} = 100$ A

TEONIOA
555

O maior valor da corrente i é atingido no seu primeiro máximo e é igual a $i_{max} = 380$ A.

Devido ao facto de inicialmente o rotor do motor se encontrar em avanço de $\alpha_0 = 23^\circ$ sobre o rotor do gerador e este rodar de 36° até se dar o arranque do motor, conclui-se que no momento deste arranque o ângulo α toma o valor $\alpha_a = -13^\circ$.

O rotor do motor já se encontra portanto em atraso em relação ao rotor do gerador no momento do arranque mostrando o gráfico associado ao oscilograma que ele se conserva em atraso durante a sua primeira volta.

Como as excitações dos rotores no presente oscilograma são respectivamente metade das indicadas para os oscilogramas anteriores, segue-se que as f. e. m. e as correntes têm menores amplitudes o que condiciona menores binários electrodinâmicos nas máquinas e menor binário sincronizante.

Esta circunstância acarreta, para o mesmo binário mecânico transmitido pela turbina a vapor ao veio do gerador, uma maior aceleração desta máquina durante o arranque e consequentemente uma maior dificuldade em obter a sincronização. Este facto manifesta-se no oscilograma pelos batimentos apresentados na curva da corrente.

Assim, segundo este oscilograma 9 e o gráfico associado, o arranque do motor só tem lugar quando o gerador atinge a velocidade correspondente a $n_g = 12$ r. p. m. enquanto que no oscilograma 1, para excitações respectivamente iguais ao dobro das presentes, basta o gerador atingir a velocidade correspondente a $n_g = 4$ r. p. m. para provocar o arranque do rotor do motor.

10. — *Oscilograma 10*

Grandezas do estado de repouso inicial

$$\alpha_0 = 22^\circ \quad \gamma_0 = -15^\circ$$

Correntes de excitação

$$I_{Rg} = 100 \text{ A} \quad I_{Rm} = 50 \text{ A}$$

As excitações dos rotores são iguais às do oscilograma 9. A posição inicial relativa dos dois rotores (α_0) e o ângulo γ_0 estão muito perto dos valores indicados no oscilograma 9. As condições de arranque são portanto as mesmas.

Tomou-se para origem do tempo neste oscilograma, o instante em que o motor iniciou o seu movimento.

O oscilograma regista os seguintes fenómenos:

1.° — Corrente i na fase U do estator;

2.° — Tensão e nos terminais entre a fase U_m e o ponto neutro do motor;

3.° — Registo M — Marcação dos intervalos de tempo correspondentes a cada sector de 30° de rotação do motor estando o primeiro sector dividido em três subsectores de 10° cada um.

A corrente i neste oscilograma decorre de forma inteiramente análoga à já apresentada para a corrente no oscilograma 9

A tensão nos terminais da fase U_m do motor está designada por e no oscilograma.

Na parte final do oscilograma a corrente i apresenta batimentos devido à falta de sincronismo das duas máquinas. A amplitude da tensão por fase e cresce com a frequência. A corrente por fase i, encontra-se em atraso em relação à tensão por fase e, dum ângulo com cerca de 40°, o que é condicionado pelo sentido do fluxo de energia do gerador para o motor que está sendo acelerado. No oscilograma encontram-se marcadas as escalas para a corrente, tensão e tempo.

11. — *Oscilograma 11*

Grandezas do estado de repouso inicial

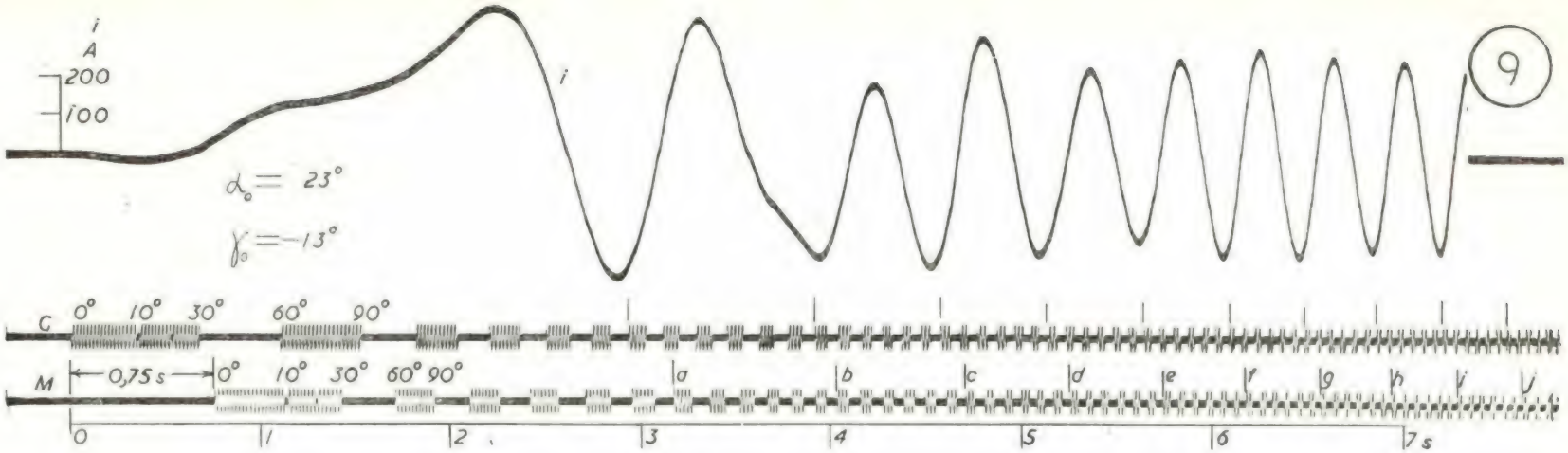
$$\alpha_0 = 22^\circ \quad \gamma_0 = -15^\circ$$

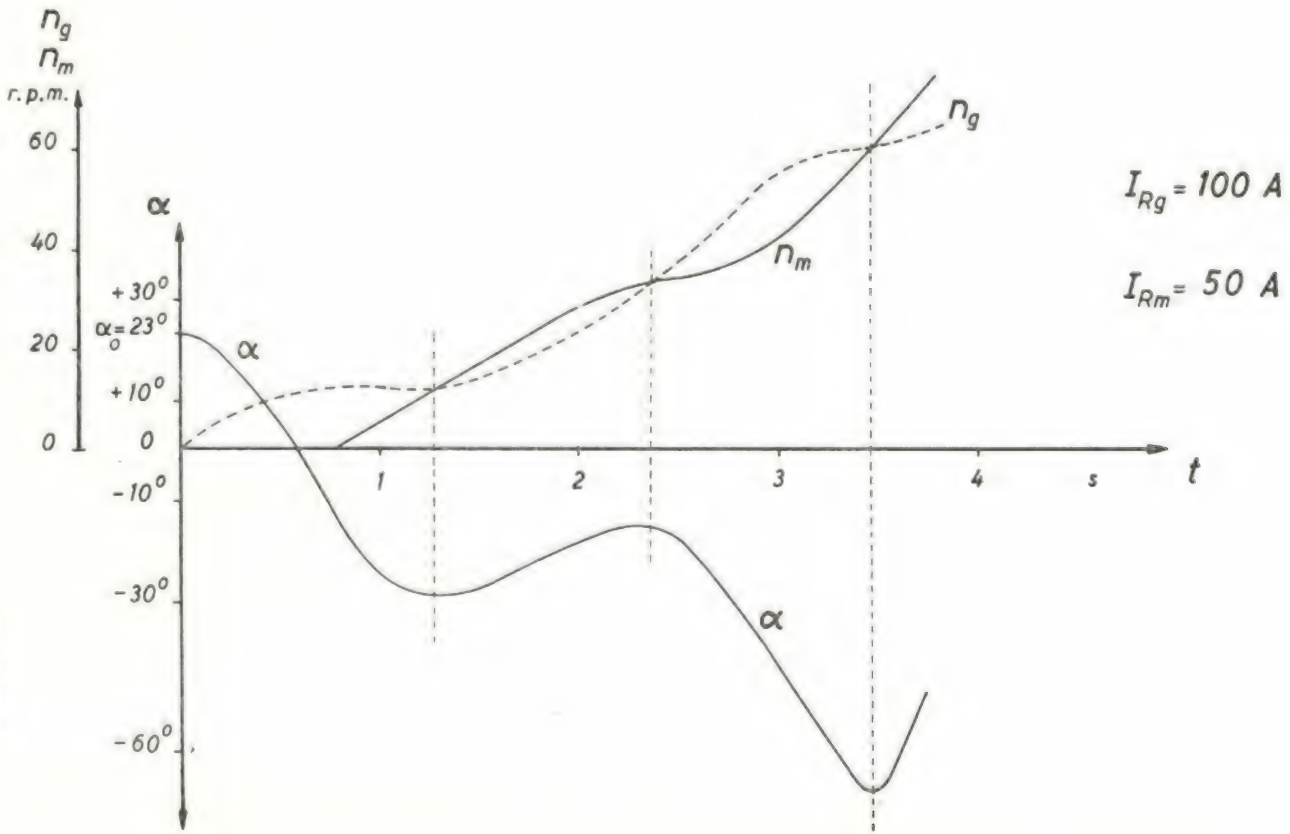
Correntes de excitação

$$I_{Rg} = 100 \text{ A} \quad I_{Rm} = 50 \text{ A}$$

As excitações dos rotores, a sua posição relativa inicial α_0 e o ângulo γ_0 são iguais aos respectivos valores indicados no oscilograma 10.

Daqui resulta que as condições de arranque são as mesmas nos dois oscilogramas. O presente oscilograma 11 representa as três correntes no circuito trifásico constituído pelo estator do gerador ligado em série com o estator do motor, durante os primeiros 7 segundos de arranque. A corrente na fase U, registada no oscilograma 10 encontra-se assinalada no presente oscilograma 11 com a letra i e apresenta pràticamente a mesma forma visto as condições de


i
A
200
100
i
9
$\alpha_0 = 23°$
$\gamma_0 = -13°$
G
0° 10° 30° 60° 90°
M
0,75 s
0° 10° 30° 60° 90°
a b c d e f g h i j
0 1 2 3 4 5 6 7 s


n_g
n_m
r.p.m.
60
40
20
0
α
+30°
$\alpha_0 = 23°$
+10°
0
-10°
-30°
-60°
α
n_g
n_m
α
1
2
3
4
s
t
$I_{Rg} = 100$ A
$I_{Rm} = 50$ A

arranque e o ângulo γ_0 serem os mesmos nos dois oscilogramas.

Neste oscilograma sobressaiem a região das grandes correntes e, na parte final, a região dos batimentos. Estes batimentos das amplitudes das três correntes são evidenciados nìtidamente e significam que, dentro dos limites do oscilograma, as máquinas não entraram em sincronismo.

III — CONCLUSÕES

De acordo com a Estrutura Teórica dos fenómenos em questão, excitámos o rotor do motor com uma corrente I_{Rm} de intensidade igual a metade da intensidade da corrente I_{Rg} de excitação do gerador.

Nos primeiros oito oscilogramas escolhemos correntes de excitação elevadas com os seguintes valores: $I_{Rg} = 200$ A, $I_{Rm} = 100$ A.

Nos últimos três oscilogramas (9, 10 e 11) escolhemos correntes de excitação relativamente baixas com os seguintes valores: $I_{Rg} = 100$ A, $I_{Rm} = 50$ A.

Como a realização prática do arranque por aumento de frequência não depende sòmente das excitações dos rotores mas também da sua posição relativa inicial, vai indicado em cada oscilograma o ângulo α_0 que representa o avanço inicial do rotor do motor sobre o rotor do gerador.

Os ensaios mostraram que se obtêm boas condições de arranque para valores de α_0 desde $\alpha_0 = 20°$ até $\alpha_0 = 30°$.

Da comparação do oscilograma 1 correspondente aos valores $I_{Rg} = 200$ A, $I_{Rm} = 100$ A e $\alpha_0 = 20°$ com o oscilograma 9 correspondente a $I_{Rg} = 100$ A, $I_{Rm} = 50$ A e $\alpha_0 = 23°$, tiram-se conclusões sobre a influência dos valores das excitações nas condições de arranque.

No oscilograma 1 verifica-se que, antes de se dar o arranque do motor, o gerador acelera mais lentamente do que no oscilograma 9. Este facto é condicionado por uma travagem electrodinâmica do rotor do gerador, originada pelas correntes que ele próprio induz nos circuitos do estator. Para uma dada velocidade, o binário correspondente a esta travagem aumenta com o valor da excitação.

No oscilograma 1 o motor arranca quando o gerador atingiu a velocidade angular de 4 r.p.m. depois de rodar apenas de 10°. No oscilograma 9 o motor só arranca quando o gerador atinge a velocidade angular de 12 r.p.m. depois de rodar cerca de 34°.

Estes resultados revelados pelo oscilograma 9 são condicionados pelo facto de ser necessário criar o mesmo binário de arranque do motor com menor corrente de excitação.

O oscilograma 9 mostra que este binário só foi atingido com uma maior velocidade do gerador $n_g = 12$ r. p. m. que tornou possível induzir no estator as correntes necessárias para provocar o arranque do motor.

Os oscilogramas 1 e 7 mostram que o sincronismo das duas máquinas é atingido logo depois da quarta volta do gerador e cerca de 5,5 segundos após o seu arranque.

Os oscilogramas 9 a 11 evidenciam que o sincronismo não é atingido dentro dos limites dos mesmos oscilogramas ou seja dentro dos primeiros sete segundos após o arranque do gerador.

Do que fica exposto conclui-se que as excitações $I_{Rg} = 200$ A e $I_{Rm} = 100$ A permitem, partindo da posição inicial correspondente a $\alpha_0 = 20°$, um arranque suave e seguro do motor entrando as máquinas em sincronismo cerca de 5,5 segundos após o arranque do gerador.

O ângulo γ_0 entre a posição inicial do rotor do gerador e a sua fase U (fase marcada a vermelho) não tem influência sobre o arranque e condiciona simplesmente a forma da corrente em cada uma das fases do sistema trifásico.

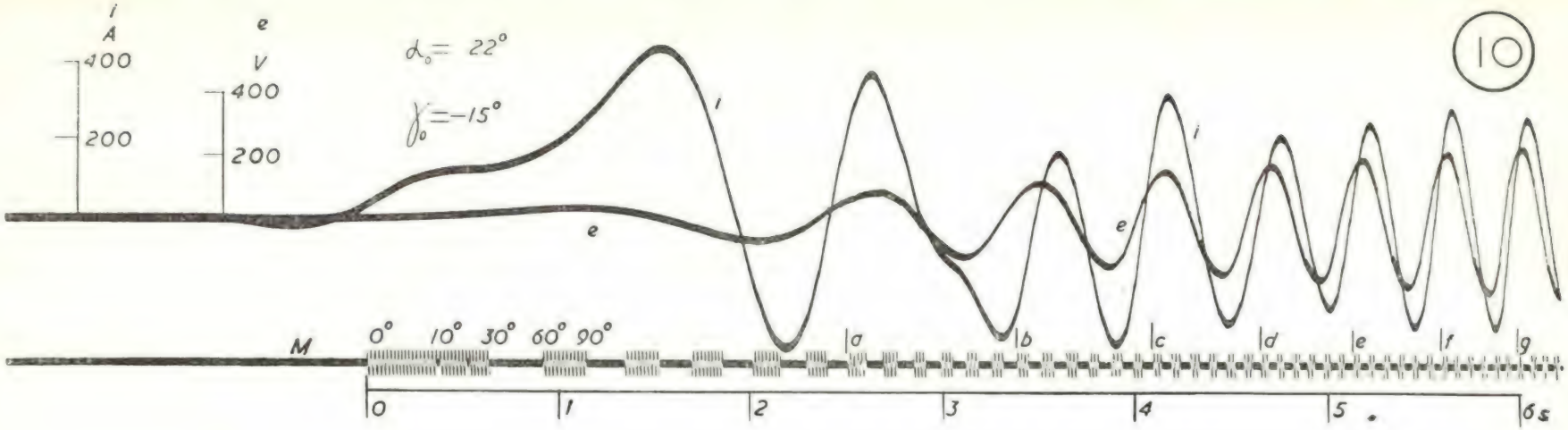
Assim os oscilogramas 1, 3 e 4 que corpondem pràticamente às mesmas condições de arranque apresentam formas diferentes para a corrente *i* na mesma fase *U*, devido ao facto dos ângulos iniciais γ_0 serem diferentes, tendo respectivamente os valores $\gamma_0 = 0°$, $\gamma_0 = -93°$ e $\gamma_0 = -31°$.

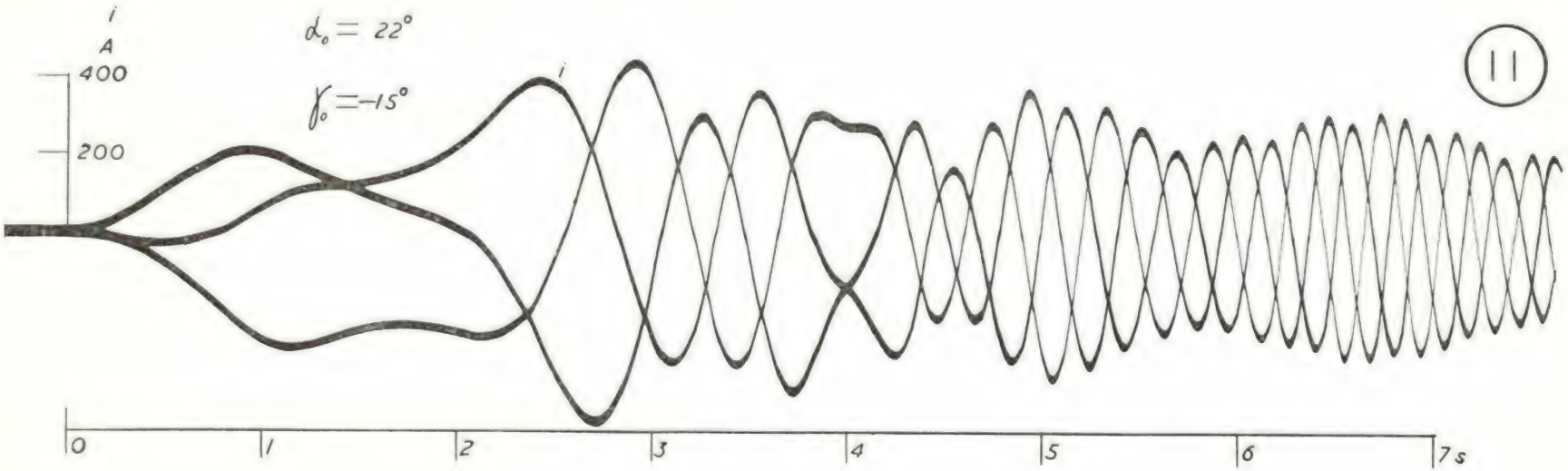
No oscilograma 7 estão representadas as três correntes por fase tendo cada uma a sua forma diferente e mantendo-se nula a sua soma em cada instante.

Os oscilogramas 5 e 6 referem-se às mesmas excitações, $I_{Rg} = 200$ A e $I_{Rm} = 100$ A, mas a condições iniciais bastante diferentes das anteriores.

No oscilograma 5 os rotores encontravam-se inicialmente na posição de concordância $\alpha_0 = 0$.

O arranque do gerador deu portanto imediatamente lugar a um avanço do seu rotor em relação ao rotor do motor. Esta circunstância con-





$I_{Rg} = 100\ A$

$I_{Rm} = 50\ A$

dicionou que o rotor do motor, após o seu arranque, acelerasse até a sua velocidade atingir um máximo relativo, $n_m = 30$ r. p. m., para em seguida retardar o seu movimento passando a velocidade por um mínimo relativo, $n_m = 20$ r. p. m., e acelerando depois novamente. Esta irregularidade no decorrer do arranque do motor para $\alpha_0 = 0°$ encontra-se esclarecida na apreciação do respectivo oscilograma.

No oscilograma 6, com $\alpha_0 = 62°$, o rotor do motor encontrava-se inicialmente em avanço de 62° em relação ao rotor do gerador. Esta circunstância condicionou a lentidão do arranque do motor que pràticamente se desenvolve com velocidade sempre crescente.

Em face do que fica exposto sobre os ensaios oscilográficos realizados, conclui-se que se obtiveram as melhores condições de arranque com as excitações $I_{Rg} = 200$ A, $I_{Rm} = 100$ A e com uma posição inicial de repouso em que o rotor do motor se encontrava em avanço de cerca de 20° sobre o rotor do gerador.

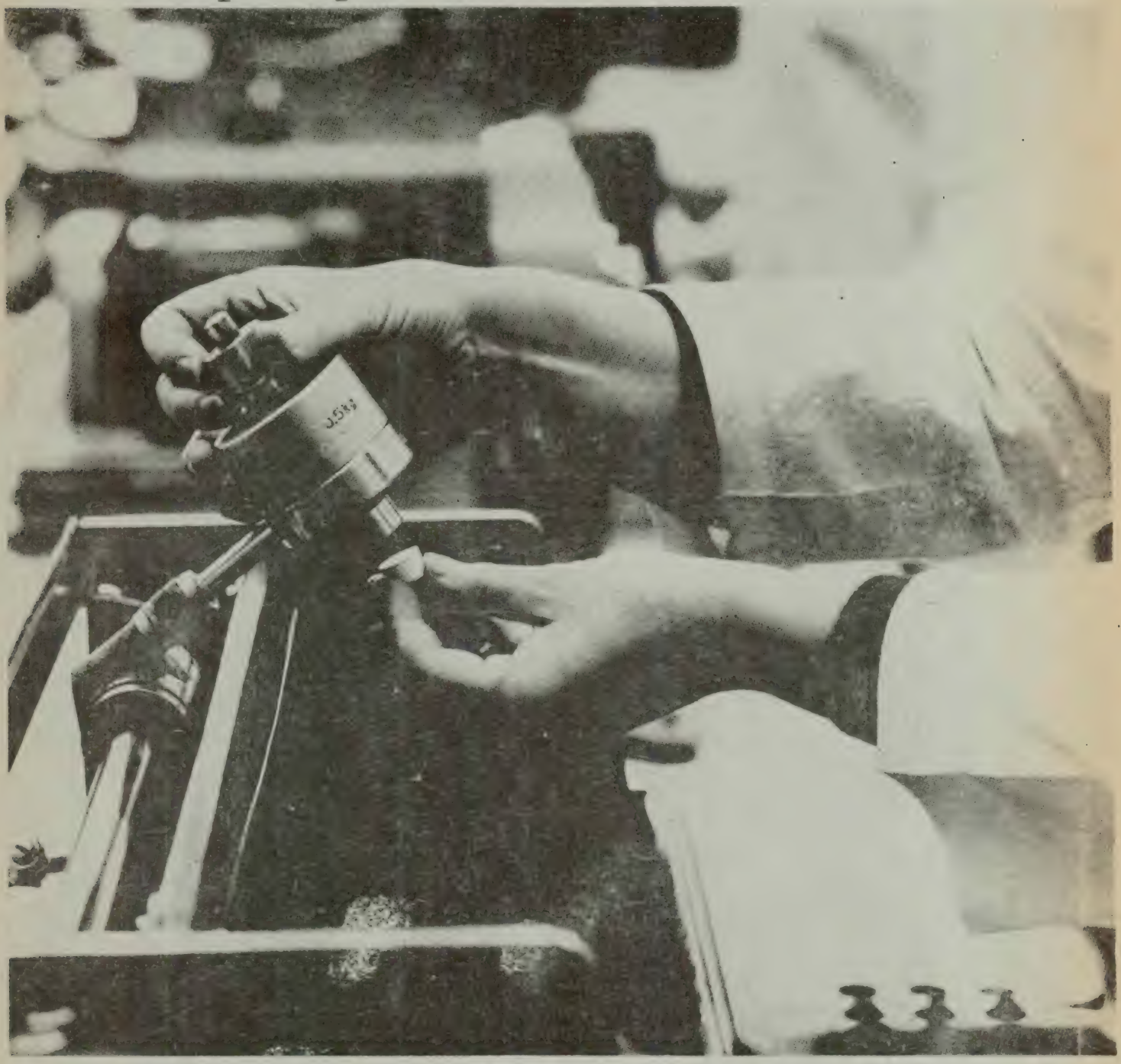
®Perbunan N - resistente ao desgaste

Os artigos de borracha, feitos da borracha butadieno-acrilnitrílica Perbunan N, da Bayer, são resistentes ao desgaste, resistem muito bem ao ataque dos óleos, gorduras e gasolinas, e têm boa resistência ao calor e ao envelhecimento.

Os nossos tipos de Perbunan N prestam-se excelentemente para a fabricação de artigos técnicos moldados, resistentes aos óleos e à gasolina, especialmente para solas e tacões, resistentes ao desgaste, assim como para cintas de travões, para rolos, borracha para carimbos e telas de cauchu, resistentes aos óleos, para correias trapezoidais, correias transportadoras, tecidos gomados, bainhas de cabos eléctricos e mangueiras, especialmente mangueiras de gasolina.

Produtos de alta qualidade exigem um controle permanente. O Perbunan N é controlado continuamente para garantir uma alta qualidade, sempre igual, do material.

PERBUNAN N a Borracha Nitrílica da BAYER



Representante em Portugal:
S.A.R.L. QUIMICOR
Lisboa: Rua Sociedade Farmacêutica, 3
Tel. 555496 e 555893
Porto: Rua de Santos Pousada, 441
Tel. 54141

2500

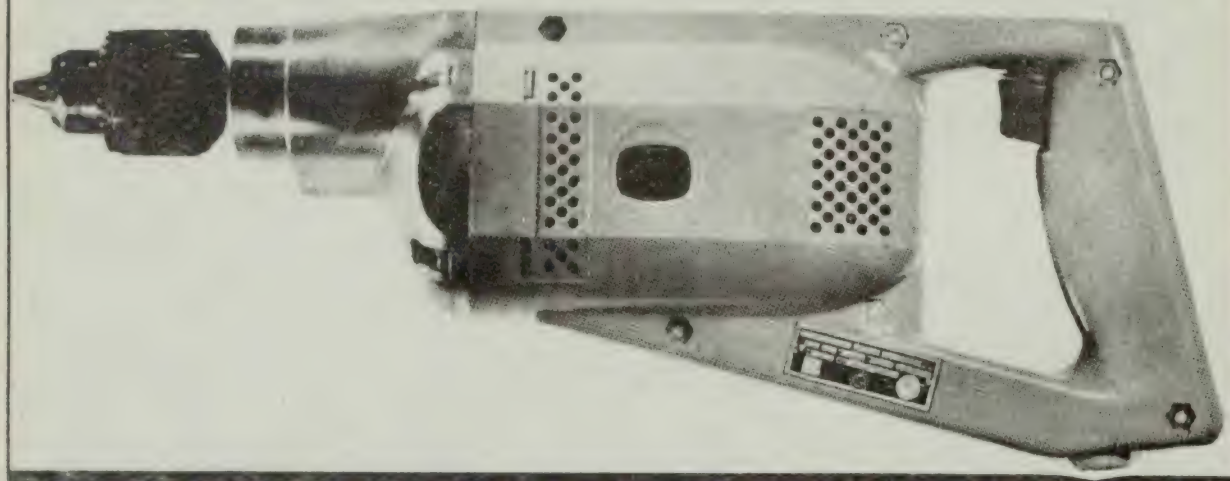
perbunan n 1863 BAYER 1963

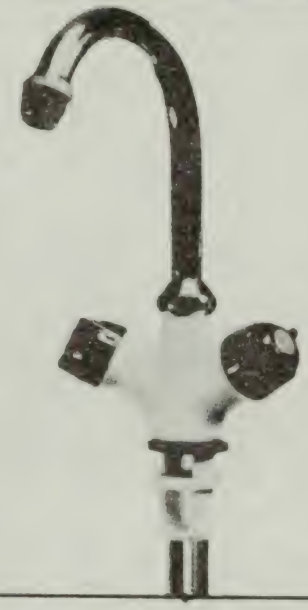
®DURETHAN BK - o Poliamida (Nylon) da BAYER Cinco vantagens técnicas

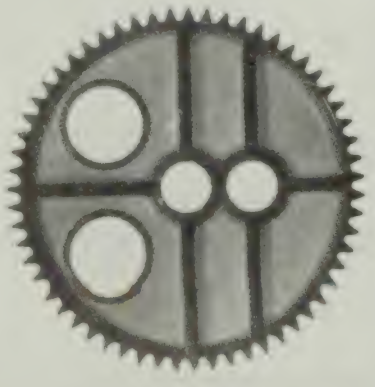
Grande resistência ao choque, boa resistência ao calor, peso diminuto, boas propriedades de fluidez e fácil desmoldagem mesmo com os moldes muito quentes, são as principais propriedades do Durethan BK 31 SK, uma poliamida finamente cristalina da Bayer. Para a construção de máquinas, fabricam-se mancais, corrediças, rolos, manípulos, cavilhas, alavancas, buchas, parafusos e bielas, de preferência deste plástico.

O Durethan BK 31 SK é especialmente apropriado para a fabricação de peças difíceis de moldar por injecção, e que devem manter as suas dimensões. As Farbenfabriken Bayer AG têm um tipo especial de poliamida apropriado para o seu caso.

Usar artigos plásticos de qualidade · significa bom gosto e economia







S.A.R.L. QUIMICOR, Representante em Portugal
Lisboa: Rua Sociedade Farmacêutica, 3, Tel. 555496 e 555893
Porto: Rua de Santos Pousada, 441, Tel. 54141

durethan 1863 BAYER 1963

C. D. U. 621.313.013.001

APLICAÇÃO DO MÉTODO DAS ANALOGIAS ELÉCTRICAS AO ESTUDO DE ALGUNS PROBLEMAS RELATIVOS AO CAMPO MAGNÉTICO DAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS

PELO ENG.º ELECT. (I. S. T.) CARLOS DE MEDEIROS PORTELA

Assistente do I. S. T.

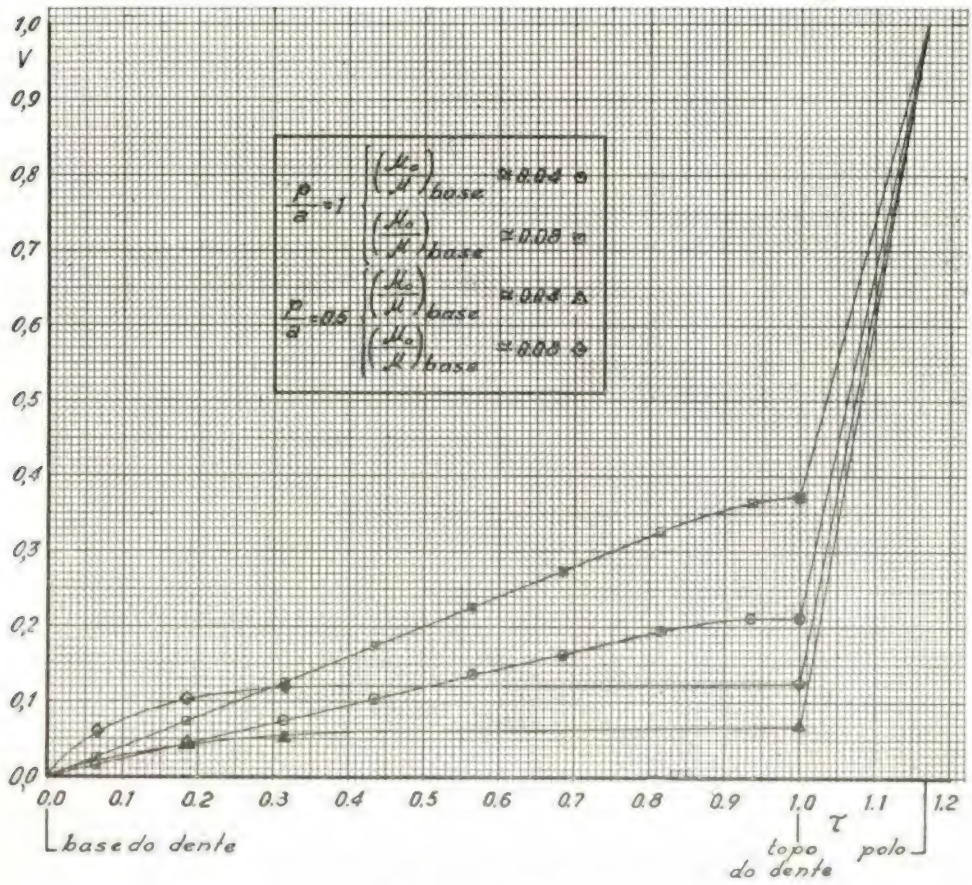
(Continuação)

6 Variação de potencial ao longo do dente

Nos gráficos das figs. 42 a 59 indicam-se os resultados obtidos para a variação de potencial ao longo do dente (valor médio) tomando como unidade a diferença de potencial entre a base do dente e o polo, em funcão de τ. Àparte um factor de escala, a inclinação destas curvas é proporcional à componente radial média do campo H no dente.

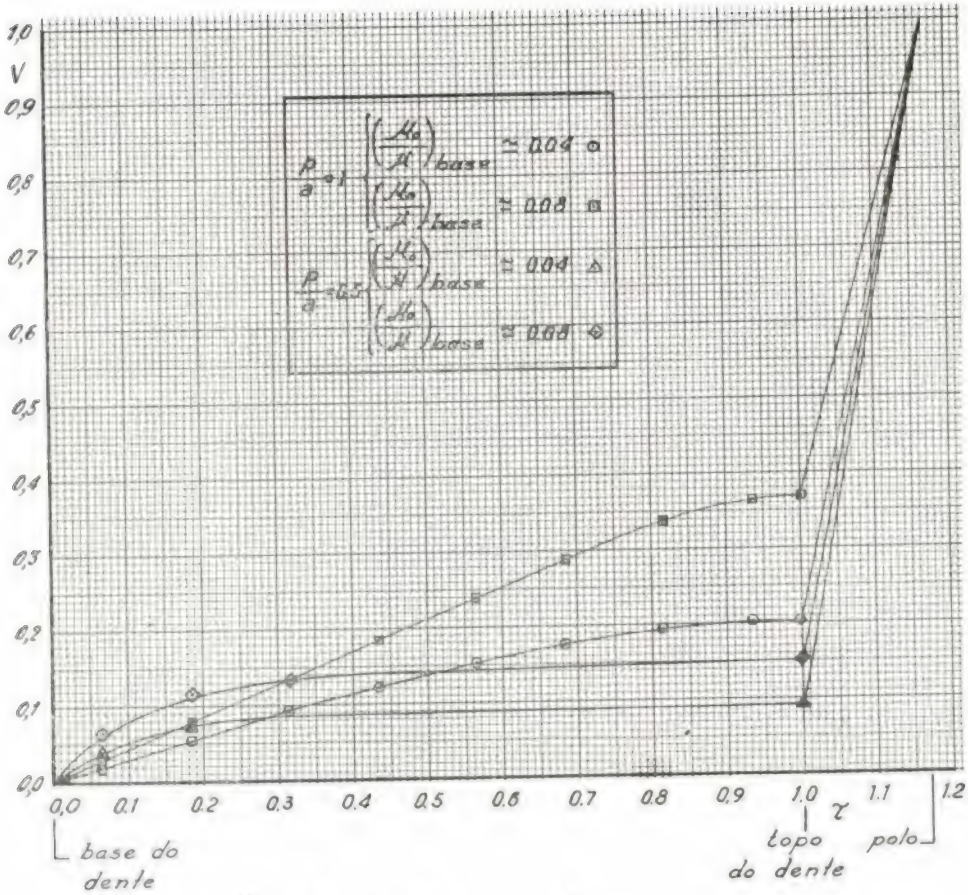
Da análise sumária destas curvas tiram-se, sob o ponto de vista qualitativo, diversas conclusões:

A) Para $\frac{p}{a} = 1$ verifica-se uma variação pronunciada da inclinação das curvas ao longo do



$\frac{b}{a} = 0.5 \quad \frac{a}{d} = 3 \quad \frac{h}{d} = 6$

Fig. 42



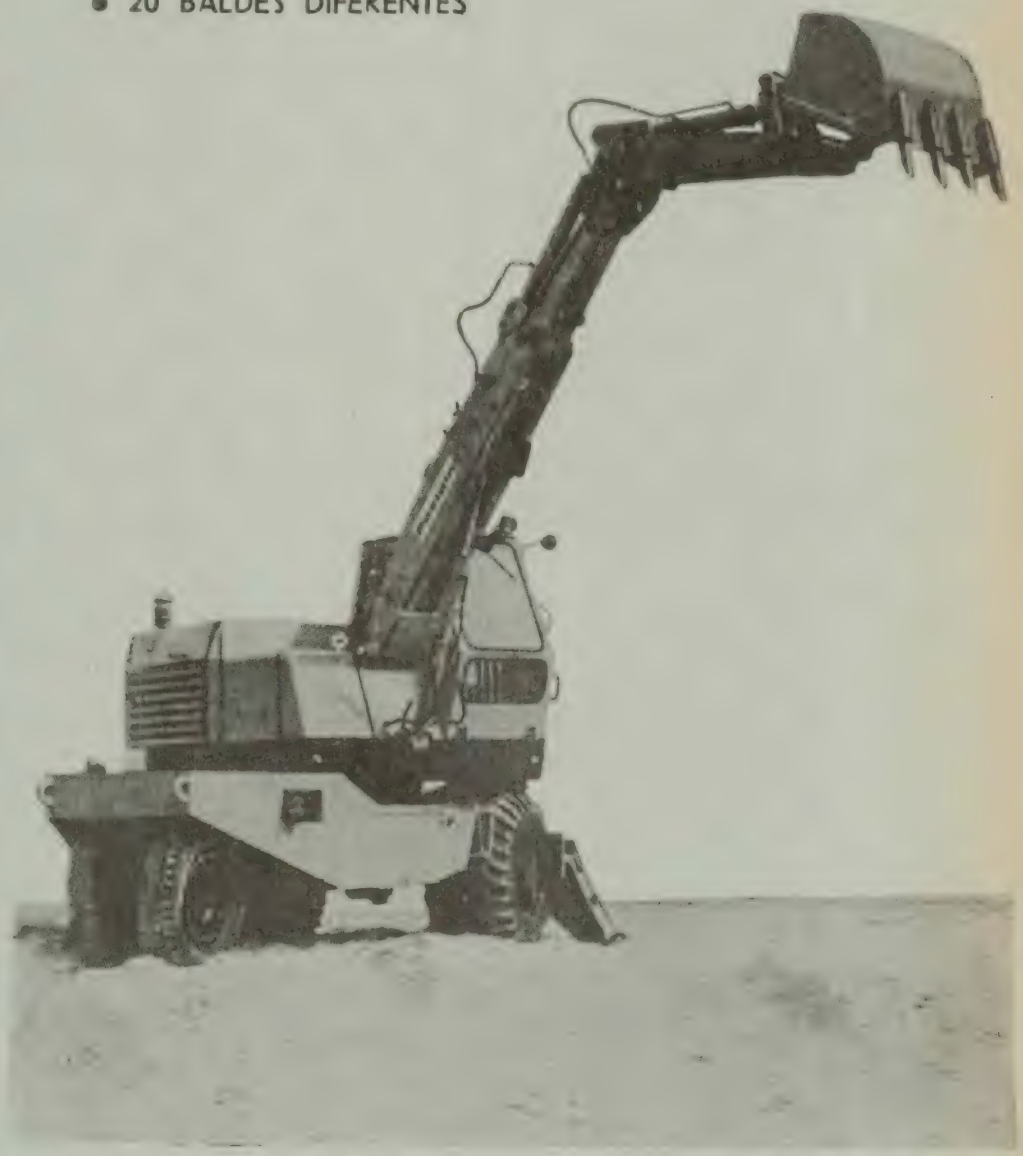
$\frac{b}{a} = 1 \qquad \frac{a}{d} = 3 \qquad \frac{h}{d} = 6$

Fig. 43

Poclain T.Y. 45

Escavadora-Retro Escavadora-Grua

- POTÊNCIA AUMENTADA
- ROTAÇÃO TOTAL E CONTÍNUA
- ESTABILIDADE 100 %
- 20 BALDES DIFERENTES



REPRESENTANTES EXCLUSIVOS

Sociedade de Mecanização Industrial e Agrícola, S. A. R. L.
Avenida Padre Manuel da Nóbrega, 8-B-1.º — LISBOA
Telefone: 72 40 53/4/5

SMEIA

Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações, L.da

Associada: Empresa de Sondagens e Fundações

TEIXEIRA DUARTE, LDA.

SONDAGENS geológicas e geotécnicas — CAPTAÇÕES de águas subterrâneas — REBAIXAMENTOS do nível freático — CONSOLIDAÇÕES E ESTABILIZAÇÃO do solo — INJECÇÕES de cimento e outros produtos — INFRAESIRUTURAS de barragens, túneis e pontes — FUNDAÇÕES de todos os tipos

Única Empresa da especialidade com sede no Ultramar Português

Sede — LUANDA
Rua Serpa Pinto, 60
C. P. 2178 — Tel. 4226

LISBOA
P. da Figueira, 18, 3.º Esq.

L. MARQUES = C. P. 982
BEIRA — C. P. 1002

Companhia Portuguesa de Trefilaria

S. A. R. L.

ARMADURAS PRÉ-FABRICADAS **MALHASOL**

Tensão de segurança 3.000 Kg cm²

AÇO BI

Tensão de segurança 4.000 Kg/cm²

AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA PARA BETÃO ARMADO

que pela eficiência técnica e económica a que conduzem, são um indispensável elemento na moderna construção civil

Para qualquer obra em betão armado consulte:

DIAL — GABINETE TÉCNICO

R. DO INSTITUTO INDUSTRIAL, 18-1.º DT.º — LISBOA
TELEFONES 67 12 24/5 E 67 37 85

"IMPERMEÁBILIS"

O IMPERMEABILIZANTE OFICIALMENTE ACONSELHADO EM TODAS AS ARGAMASSAS DE CIMENTO

Prédios, empenas, caves. — Depósitos para água, vinhos e aguardentes. — Facultam-se certificados de ensaio dos Laboratório Nacional de Engenharia Civil e da Junta Nacional do Vinho

Distribuidor geral para todo o Império Português:

ANSELMO DE MATOS
Av. Almirante Reis, 179, r/c. - Tel. 4 64 39 - LISBOA - 1

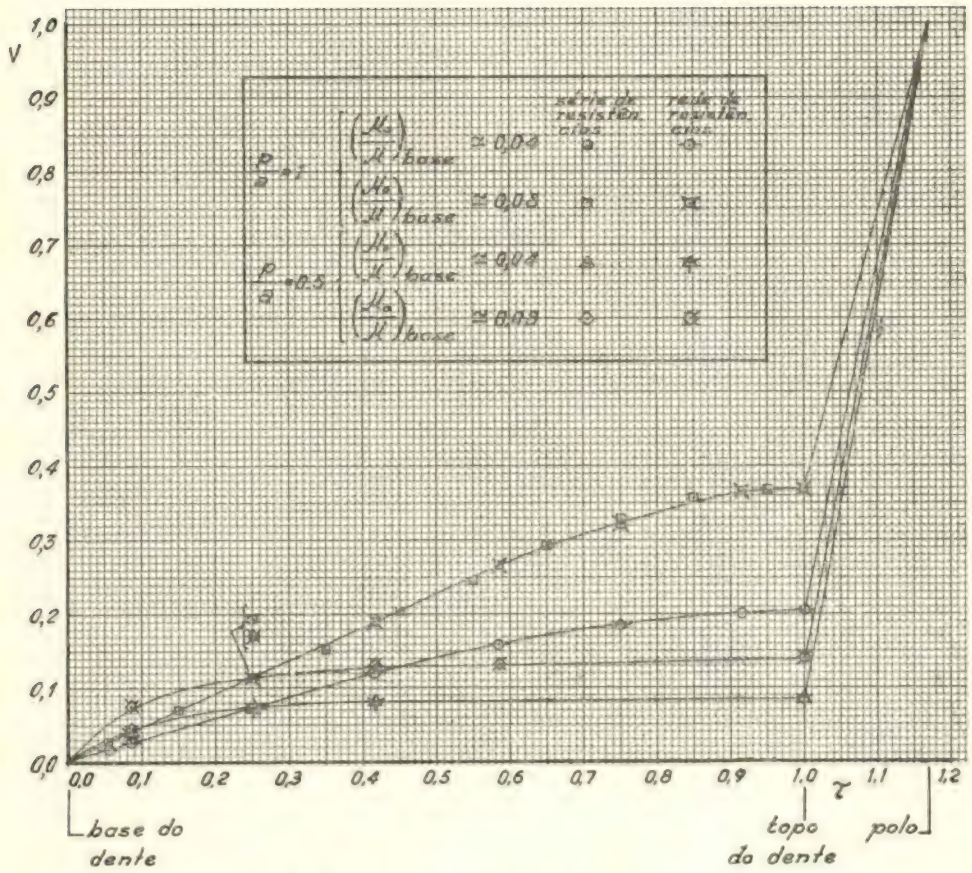
Revendedores em Lisboa:

João Pereira Vareiro & Filhos, Lda.
Rua Augusto José Vieira, 12 - Tel. 84 74 80

Manuel Pereira Matias, Lda.
Rua de Pedrouços, 105-A - Tel. 61 11 53

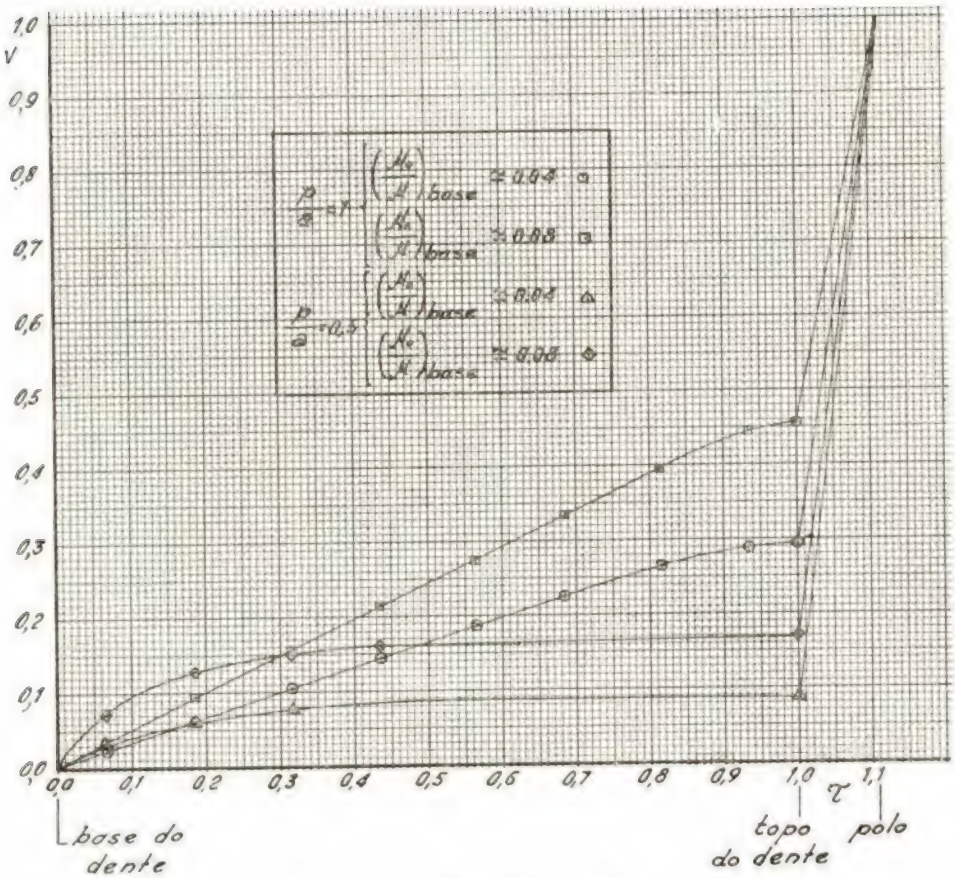
Manufacturas de Cimento Fortex, Lda.
Estrada de Benfica, 727 - Tel. 70 21 75

Sequeira & Santos, Lda.
R. José Joaquim Marques, 113 - Tel. 02 61 05 - MONTIJO



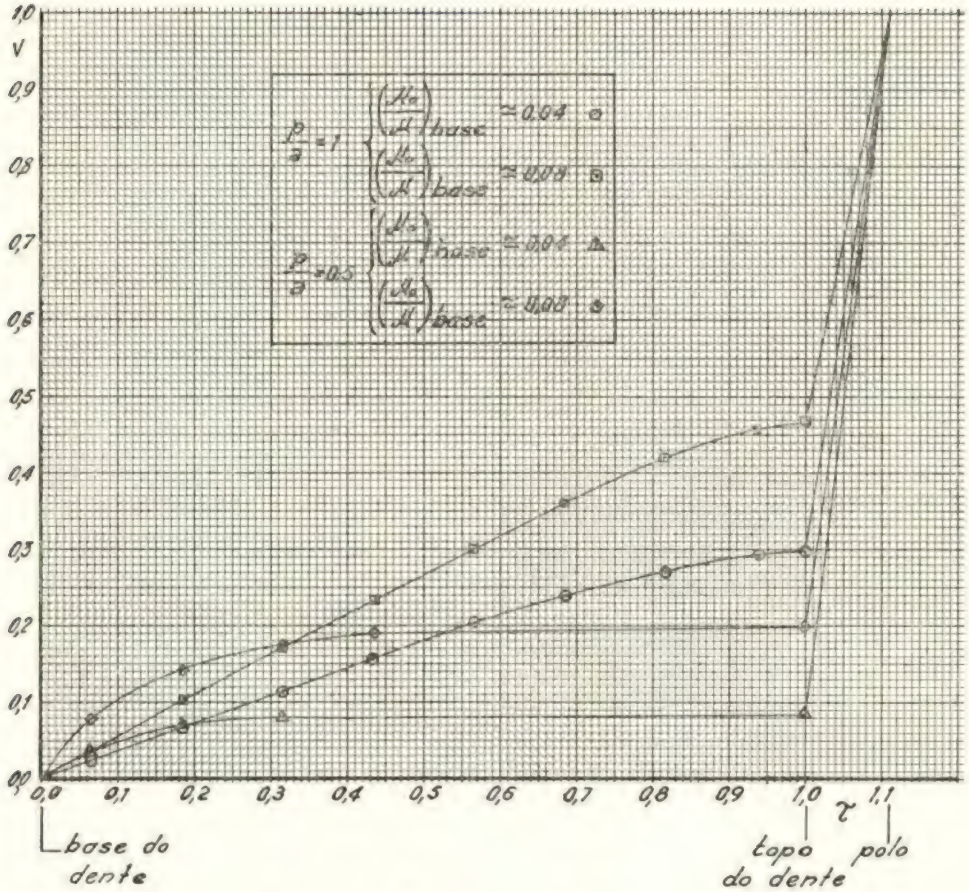
$\frac{b}{a} = 1.5 \qquad \frac{a}{d} = 3 \qquad \frac{h}{d} = 6$

Fig. 44



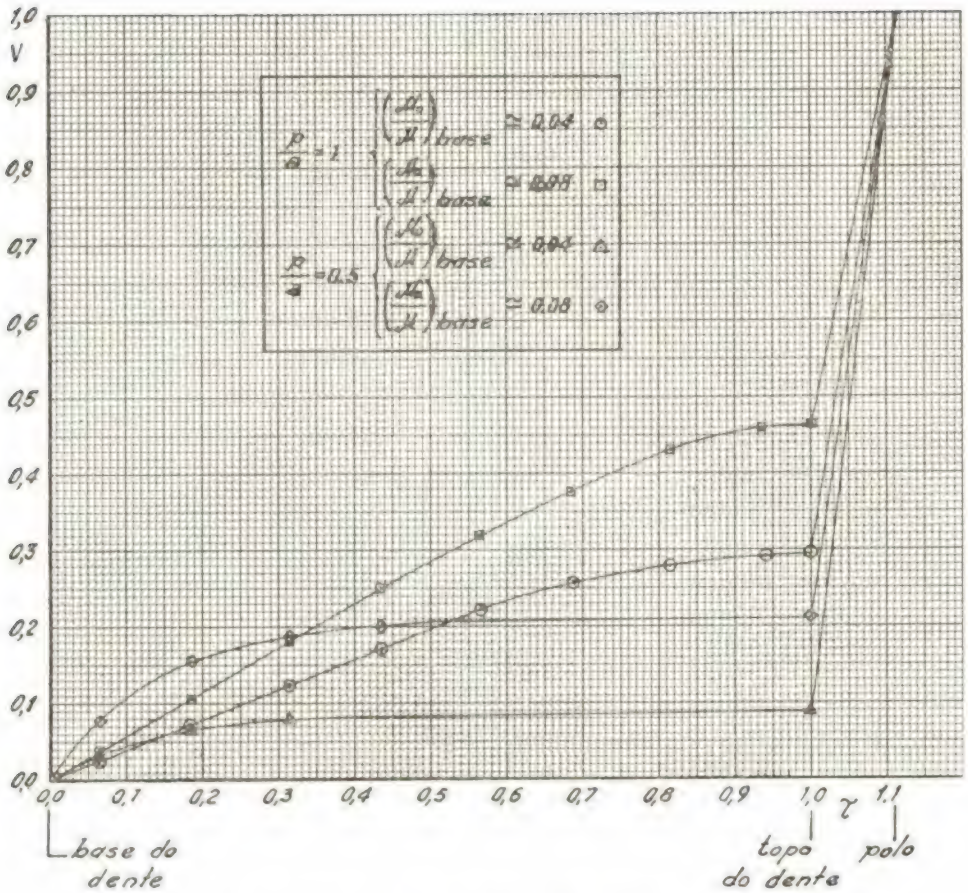
$$\frac{b}{a} = 0,5 \qquad \frac{a}{d} = 4,5 \qquad \frac{h}{d} = 9$$

Fig. 45



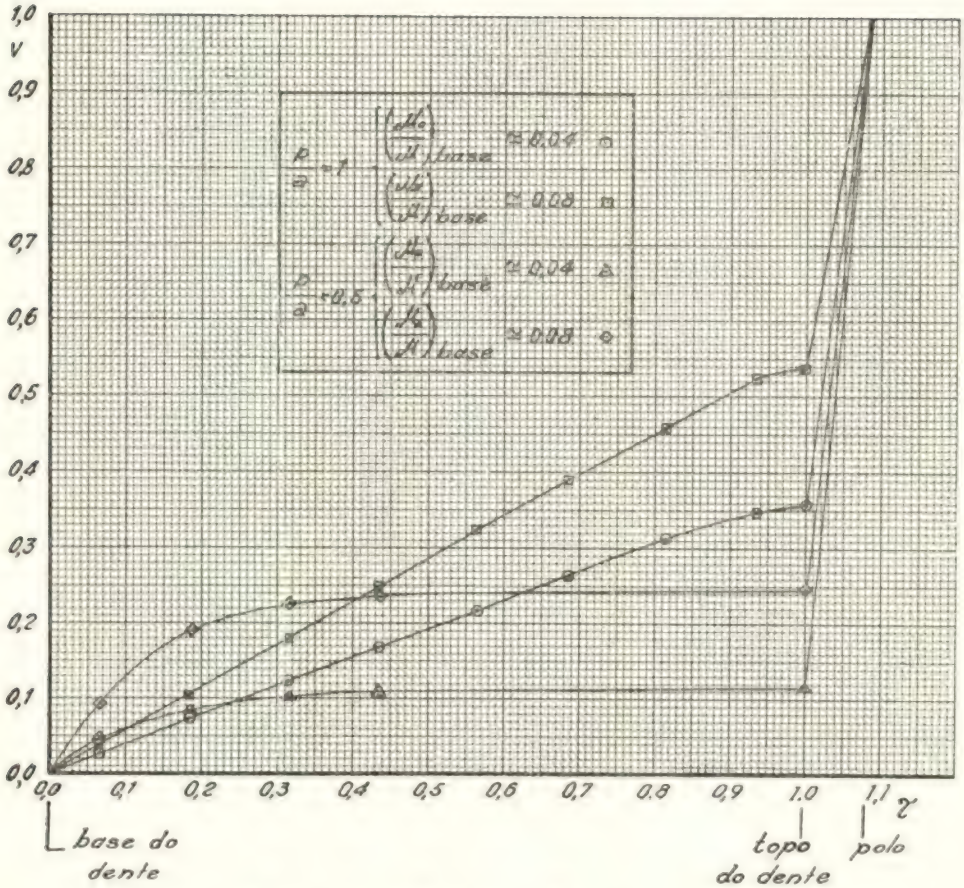
$\frac{b}{a} = 1 \qquad \frac{a}{d} = 4,5 \qquad \frac{b}{d} = 9$

Fig. 46



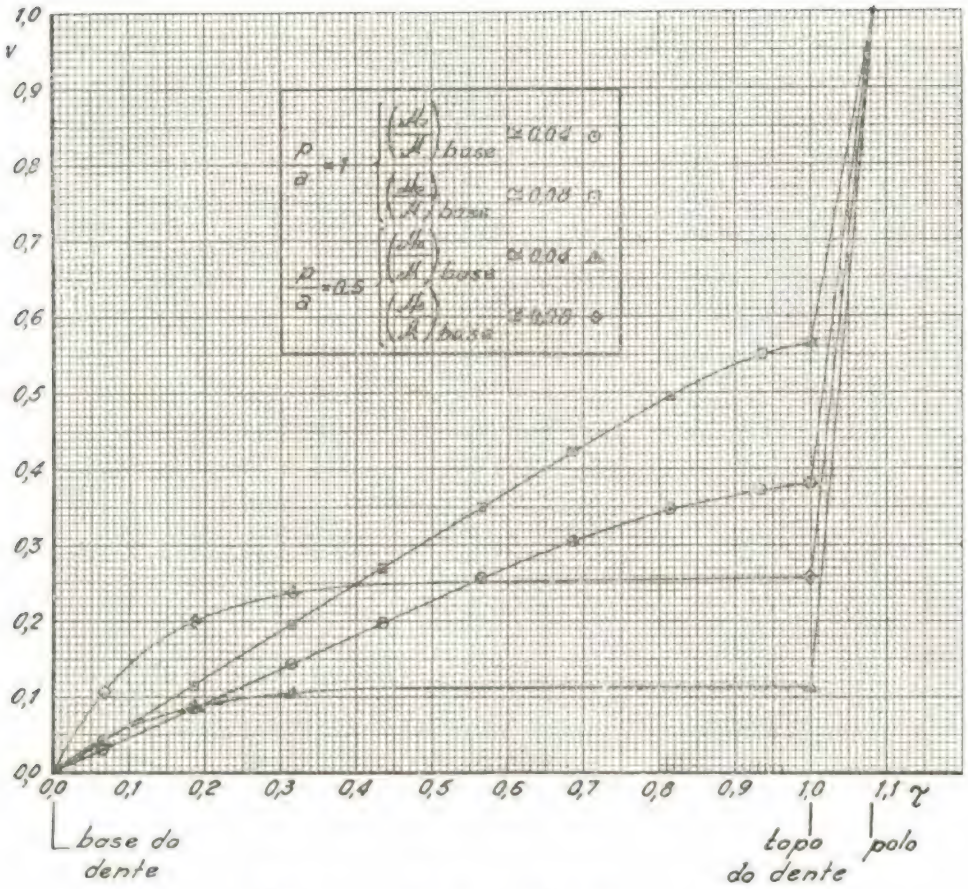
$\frac{b}{a} = 1,5 \qquad \frac{a}{d} = 4,5 \qquad \frac{h}{d} = 9$

Fig. 47



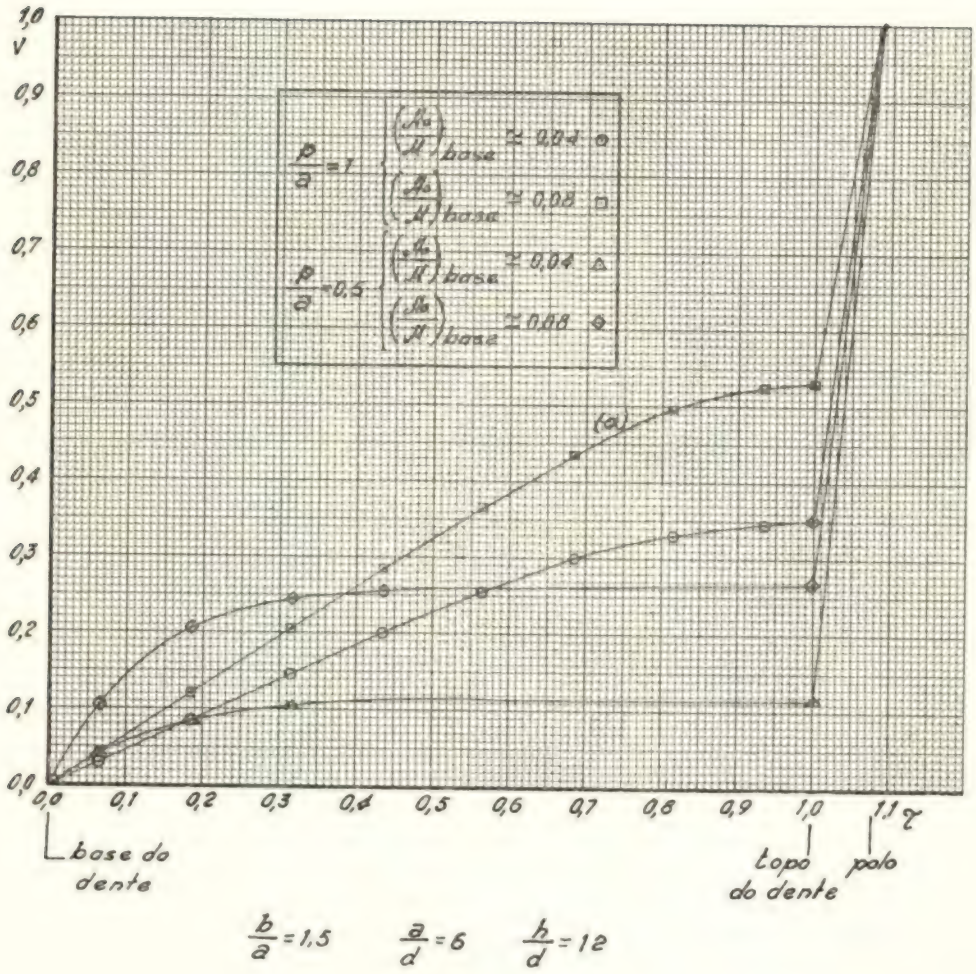
$\frac{b}{a} = 0.5 \qquad \frac{a}{d} = 6 \qquad \frac{h}{d} = 12$

Fig. 48



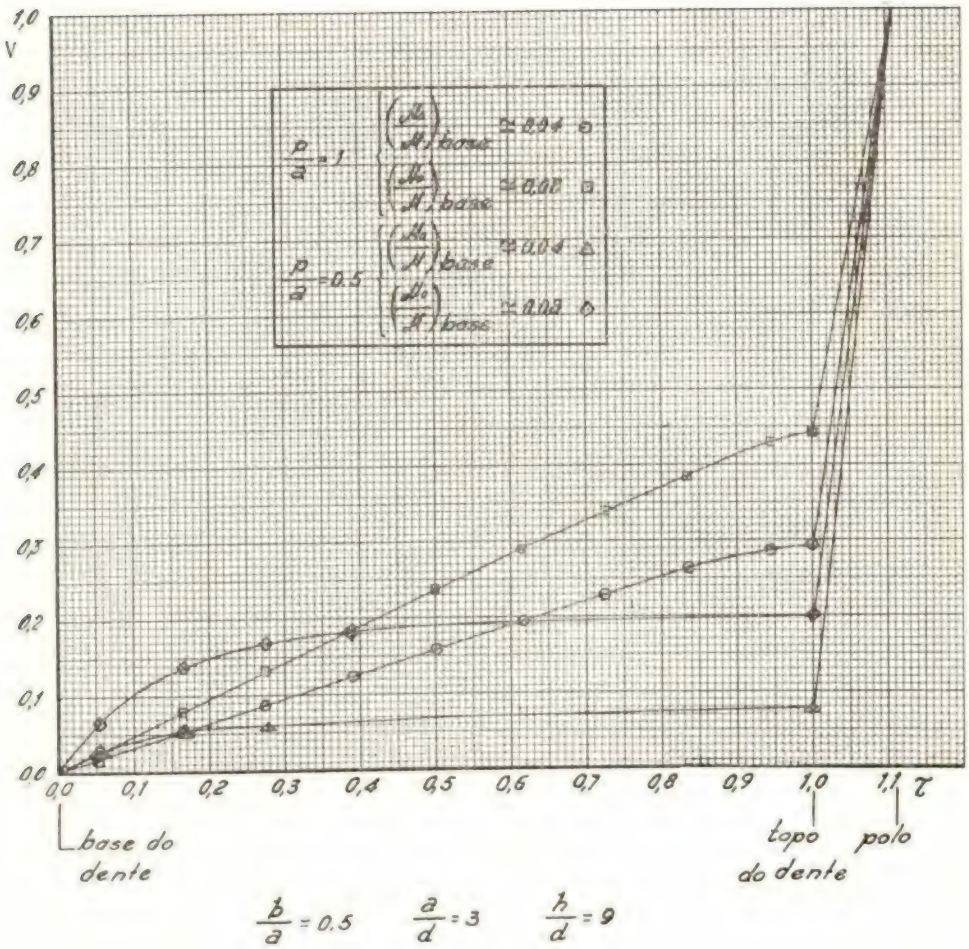
$\frac{b}{a} = 1 \qquad \frac{a}{d} = 6 \qquad \frac{h}{d} = 12$

Fig. 49



$\frac{b}{a} = 1,5 \qquad \frac{a}{d} = 6 \qquad \frac{h}{d} = 12$

Fig. 50



$\frac{b}{a} = 0.5 \qquad \frac{a}{d} = 3 \qquad \frac{h}{d} = 9$

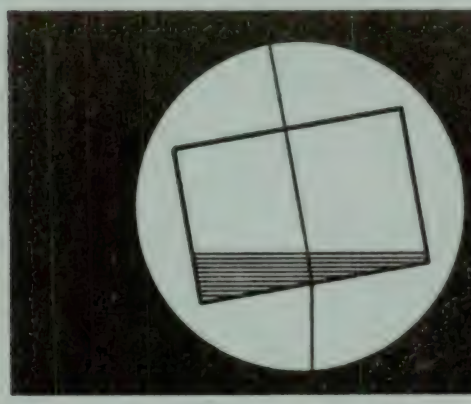
Fig. 51

O NOVO TEODOLITO

Wild T 1-A

com calagem zenital automática

O teodolito com os aperfeiçoamentos mais modernos, permitindo medições mais fáceis, rápidas e mais exactas



Automatismo duma concepção surpreendentemente simples: Prisma com líquido sem partes mecânicas, sem desgaste, sem desarranjos, sem reparações.

Detalhes no prospecto Th 154

WILD
HEERBRUGG

Modelo T 1-A C/imagem invertida
Modelo T 1-A E C/imagem direita

Solicitem catálogo ou demonstração ao representante exclusivo:

WILD PORTUGAL, L.DA

LISBOA — PRAÇA DAS ÁGUAS LIVRES, 8, S/L 6 — Tel. 68 11 27

DEMAG EQUIPA TODA A INDÚSTRIA

DEMAG

Aparelhos de elevação DEMAG

PONTES ROLANTES CONSTRUÍDAS SOBRE MEDIDA?

A ponte rolante Standard DEMAG é construída em série. Este tipo de construção pôs fim à necessidade de um ante projecto: nos nossos dias já não é necessário construir as pontes rolantes sobre medida.

A ponte rolante Standard DEMAG está na vanguarda da construção das pontes rolantes de amanhã. Por um preço vantajoso resolve duma forma moderna todos os problemas de manutenção. Já provou em milhares de casos.

Aproveite a experiência por nós adquirida durante dezenas de anos.

Consulte os nossos especialistas, o que lhe economiza tempo e dinheiro.

O seu sucesso será também o nosso.

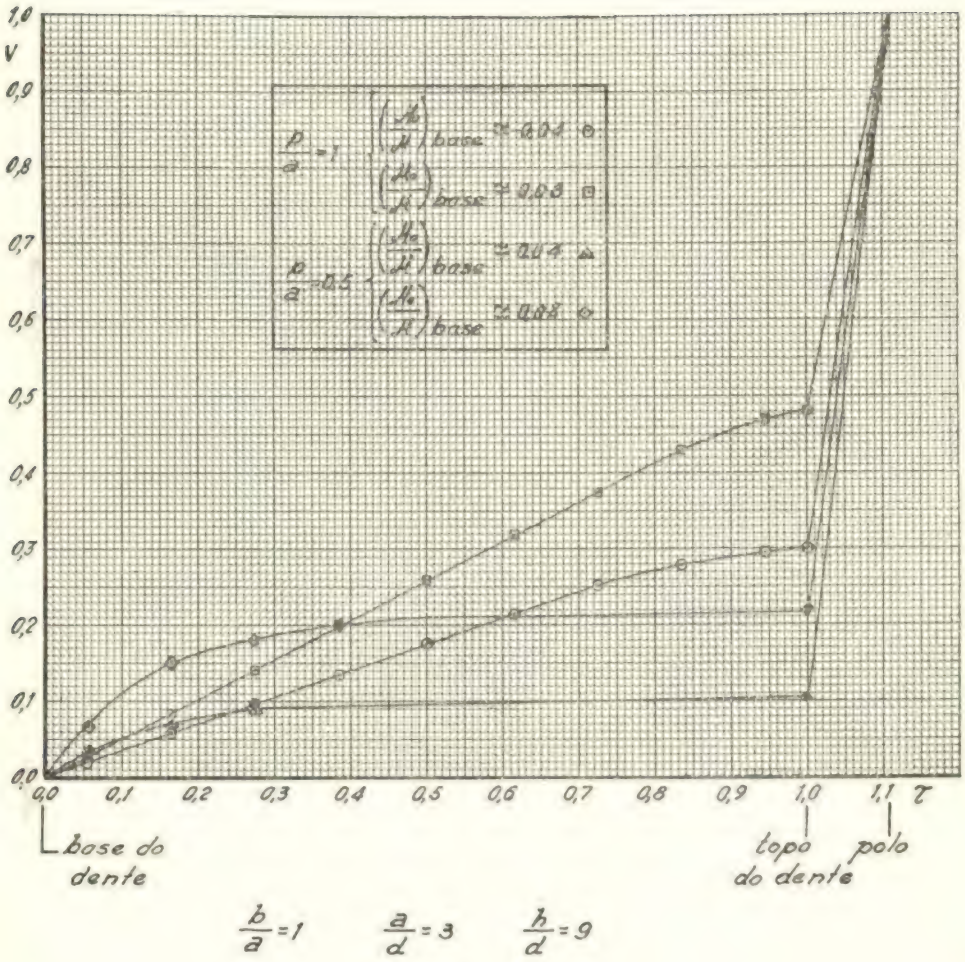
ROMAR
ORGANIZAÇÃO AO SERVIÇO DA INDÚSTRIA

LISBOA
Rua da Boa Vista, 81-C - 83-E
Tel. PPC 67 21 61/2/3/4/5

PORTO
Rua Sá da Bandeira, 589
Tel. 2 58 71

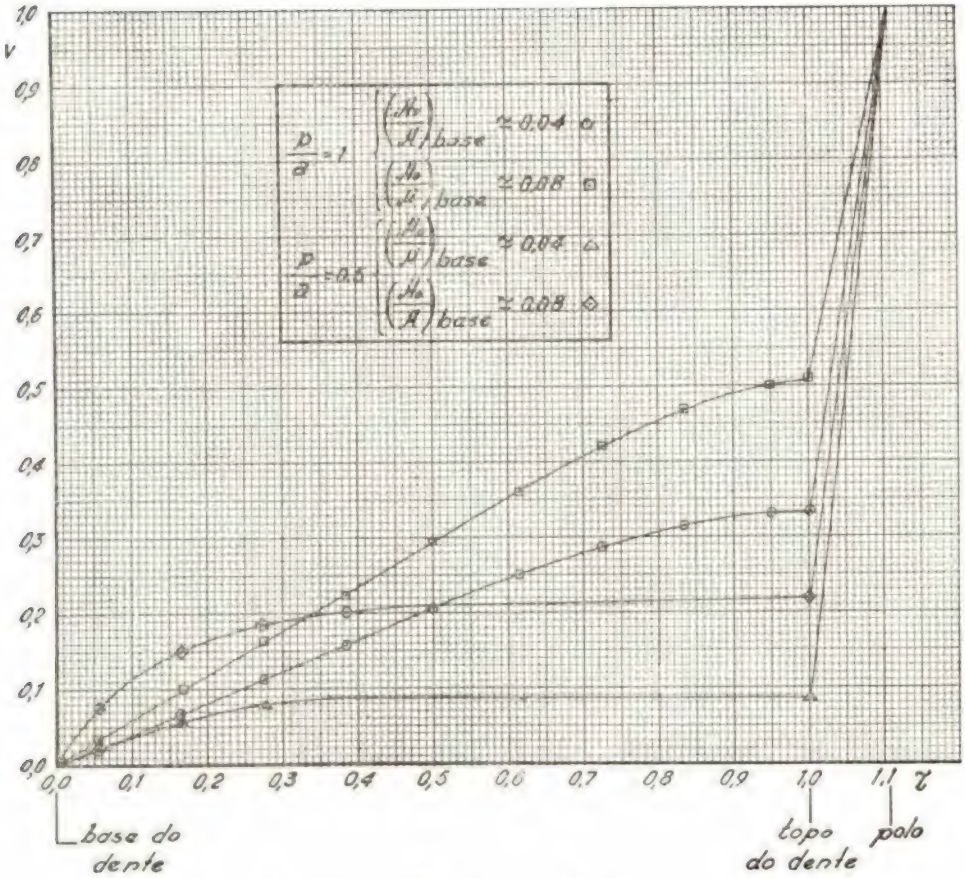
LOURENÇO MARQUES
Av. Manuel de Arriaga, 55-1.º
Tel. 5214

LUANDA
Largo da República, 29
Tel. 4492



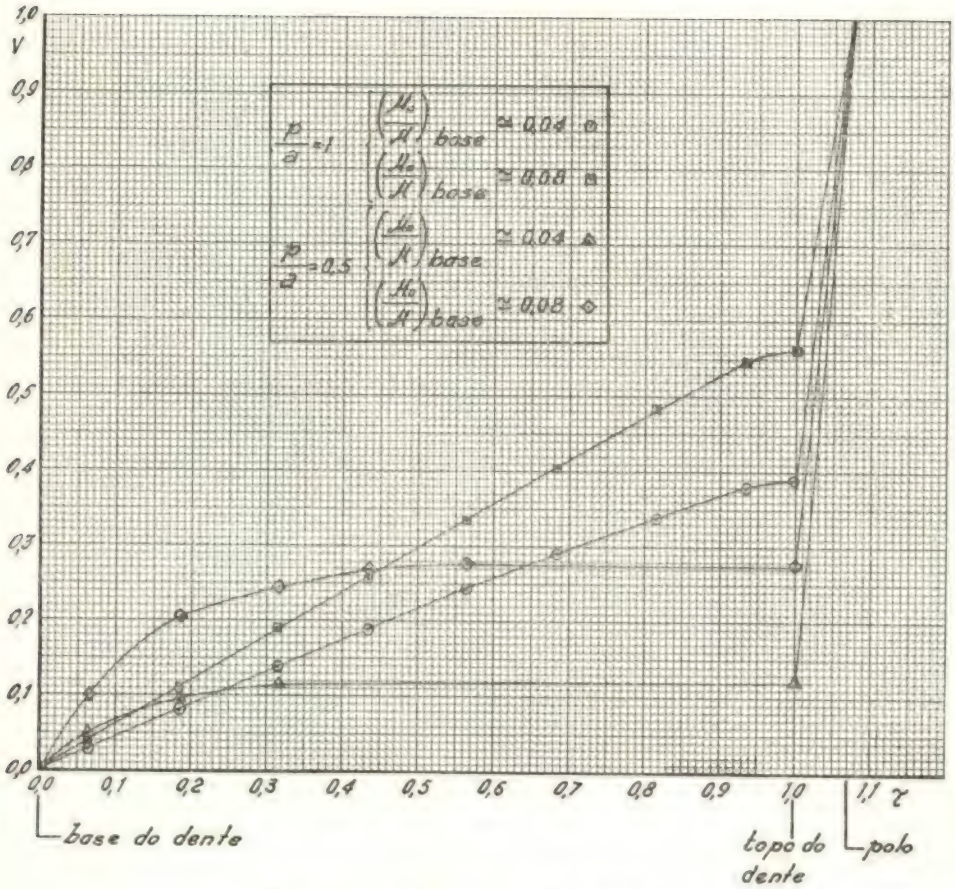
$\frac{b}{a} = 1 \qquad \frac{a}{d} = 3 \qquad \frac{h}{d} = 9$

Fig. 52



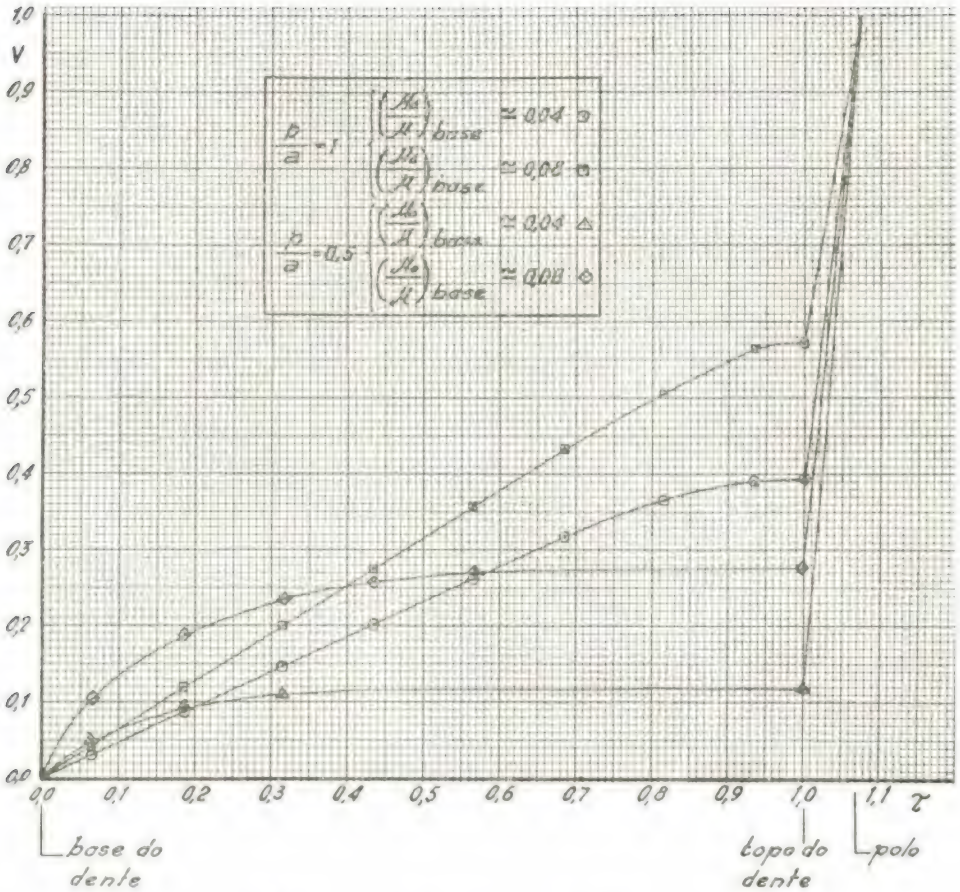
$\frac{b}{a} = 1,5 \qquad \frac{a}{d} = 3 \qquad \frac{h}{d} = 9$

Fig. 53



$\frac{b}{a} = 0,5 \qquad \frac{a}{d} = 4,5 \qquad \frac{h}{d} = 13,5$

Fig. 54



$\frac{b}{a} = 1$ $\left(\frac{M_a}{M}\right)_{base} \cong 0{,}04$

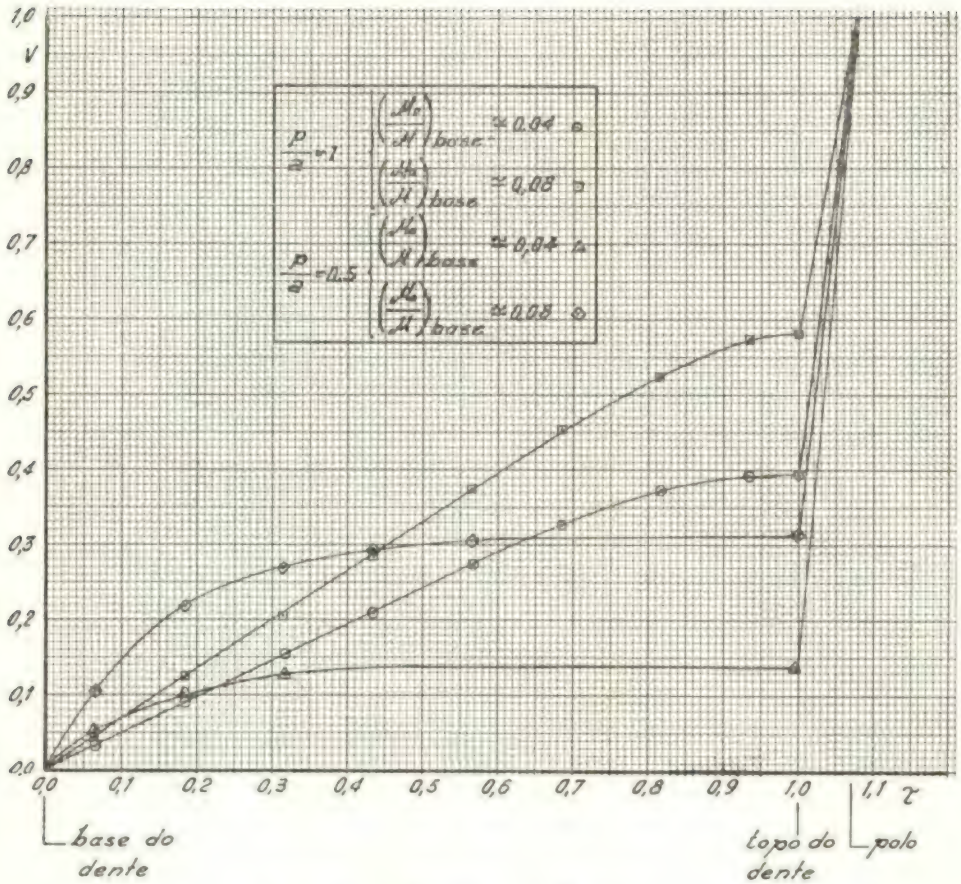
$\left(\frac{M_a}{M}\right)_{base} \cong 0{,}02$

$\frac{b}{a} = 0{,}5$ $\left(\frac{M_a}{M}\right)_{base} \cong 0{,}04$

$\left(\frac{M_a}{M}\right)_{base} \cong 0{,}01$

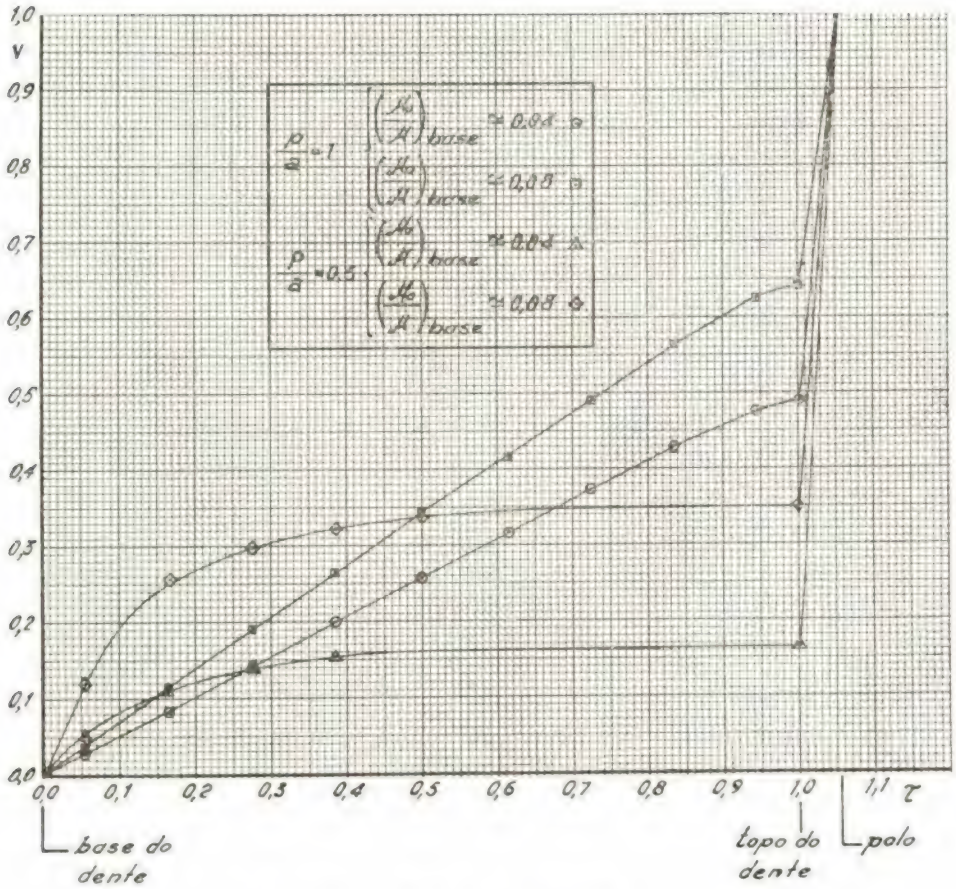
$\frac{b}{a} = 1$ $\frac{a}{d} = 4{,}5$ $\frac{b}{d} = 13{,}5$

Fig. 55



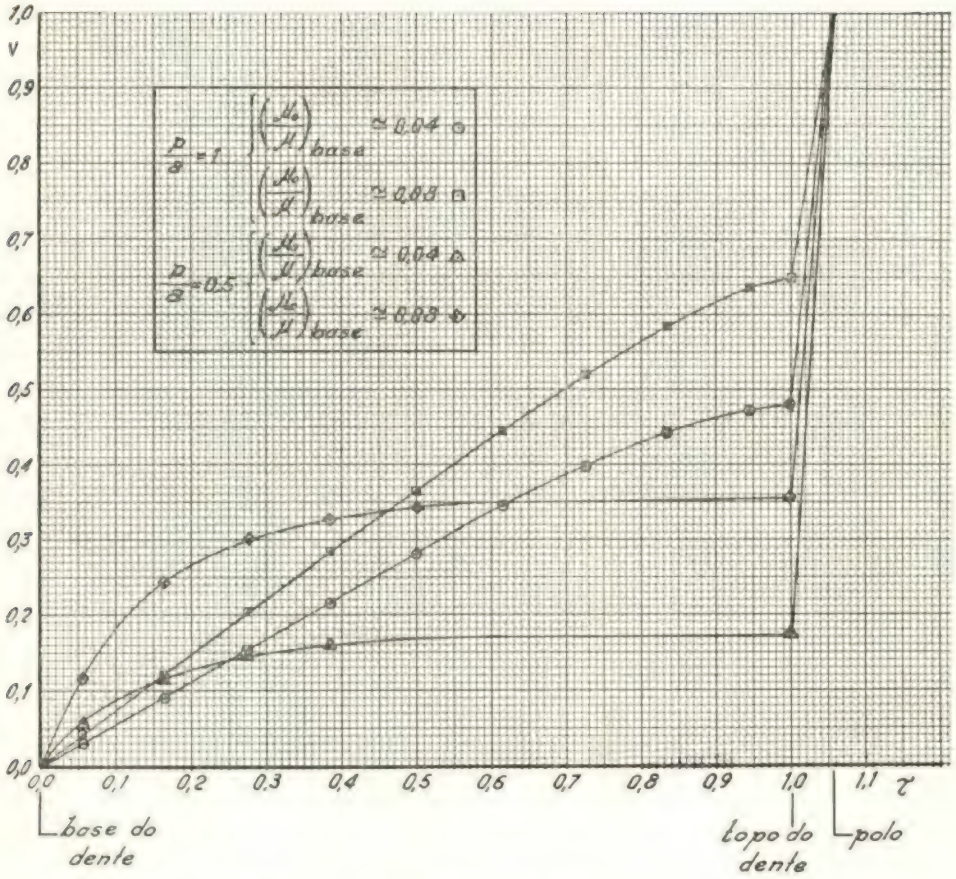
$\frac{b}{a} = 1,5 \qquad \frac{a}{d} = 4,5 \qquad \frac{h}{d} = 13,5$

Fig. 56



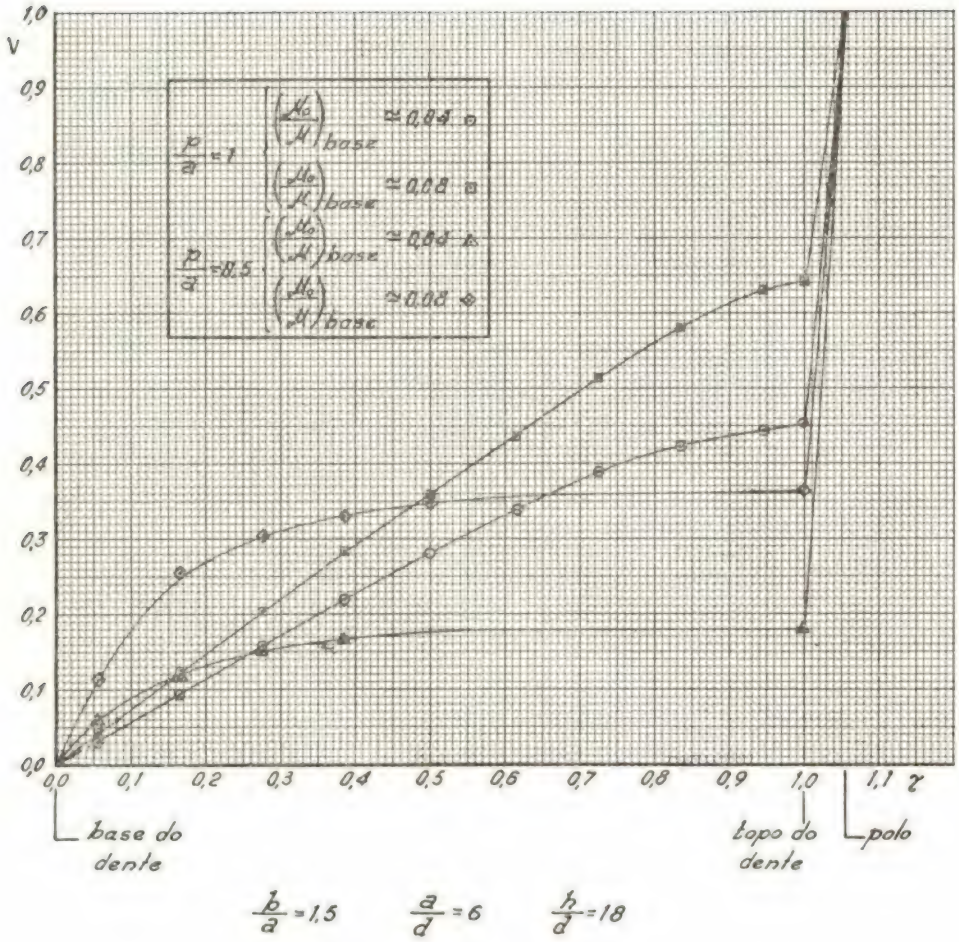
$\frac{b}{a} = 0,5 \qquad \frac{a}{d} = 6 \qquad \frac{h}{d} = 18$

Fig. 57



$\frac{b}{a} = 1,0 \qquad \frac{a}{d} = 6 \qquad \frac{h}{d} = 18$

Fig. 58



$\frac{b}{a} = 1,5 \qquad \frac{a}{d} = 6 \qquad \frac{h}{d} = 18$

Fig. 59

ELECTROBOMBAS
EFACEC
EFACEC
75.000 litros
por hora
apenas com
2,5 CV
EFACEC
EFACEC

MÁQUINAS INDUSTRIAIS

para

FÁBRICAS **WERNER & PFLEIDERER**

AO SERVIÇO DAS INDÚSTRIAS:

BORRACHA / PLÁSTICA / QUÍMICA / FARMACÊUTICA

REPRESENTANTES:

ROLF KEEL — Lisboa-5 — Alvalade — Tel. 72 09 94

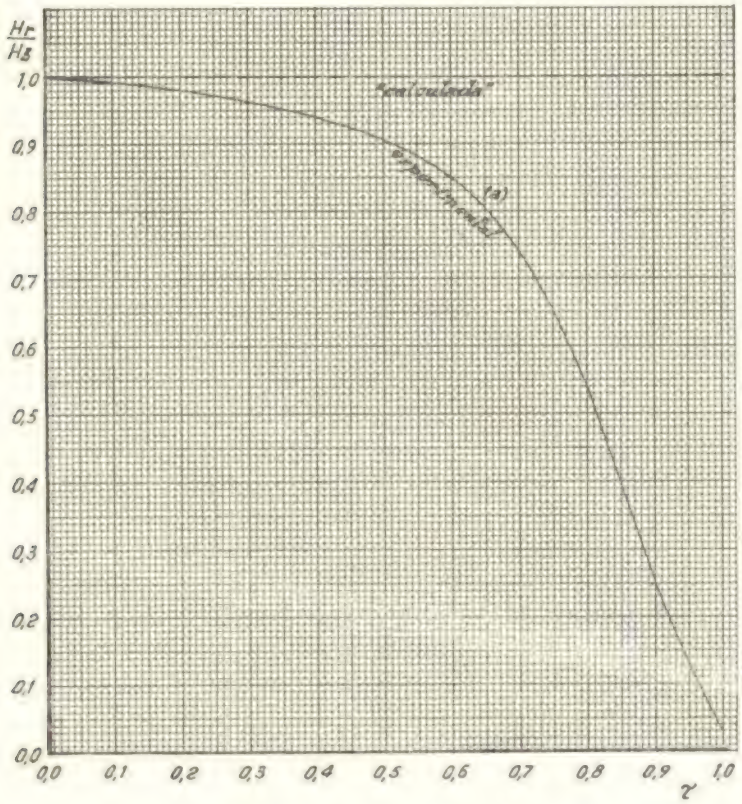
Rua Frei Manuel Cardoso, 16

WALTHER LEUCHT — Porto — Tel. 45 306

Rua da Cruz, 222

muito pequeno no topo. A variação desta inclinação traduz para $H = f(\tau)$ uma função do tipo da representada pela curva (a) do gráfico da fig. 60 obtida a partir da curva (a) do gráfico da fig. 50. Verifica-se na região do dente junto à base, uma pequena variação de H, e na região terminal uma variação gradual de H, o qual tem um valor muito reduzido no topo. A extensão relativa destes dois domínios depende notòriamente de $\frac{b}{a}$, estando a zona da separação tanto mais próxima da base quanto maior $\frac{b}{a}$;

B) Para $\frac{p}{a} = 0{,}5$ dá-se uma rápida variação da inclinação da curva representativa de $V = f(\tau)$ na região da base, sendo o campo H muito reduzido para valores de τ superes a cerca de 0,5.



Variação de H ao longo do dente

Fig. 60

7 Variação da indução ao longo do dente. Cálculo das perdas magnéticas

Trabalhámos com uma aproximação que conduzisse a pequenos erros na relutância magnética do conjunto, não nos tendo preocupado grandemente, dentro dessa aproximação, com o valor local do campo. Dado que, à excepção da região do topo, as variações do fluxo são muito pequenas, e que, para valores da indução inferiores ao do cotovelo de saturação, a relutância é muito reduzida, não afectando sensìvelmente a relutância do conjunto, os valores de indução determinados correspondem apenas a uma ordem de grandeza. No entanto, o processo usual, por não ter em conta a

variação de fluxo na região terminal do dente, implica erros apreciáveis no cálculo das perdas. Para as dimensões ensaiadas correspondentes a $\frac{p}{a} = 1$ os ensaios efectuados permitem obter uma ordem de grandeza da variação da indução ao longo do dente. Para um cálculo das perdas mais rigoroso que o habitual, nos casos em que não haja saturação da região terminal do dente, em particular para as dimensões ensaiadas e $\frac{p}{a} = 0{,}5$, poder-se-á utilizar o método de cálculo indicado em 8.

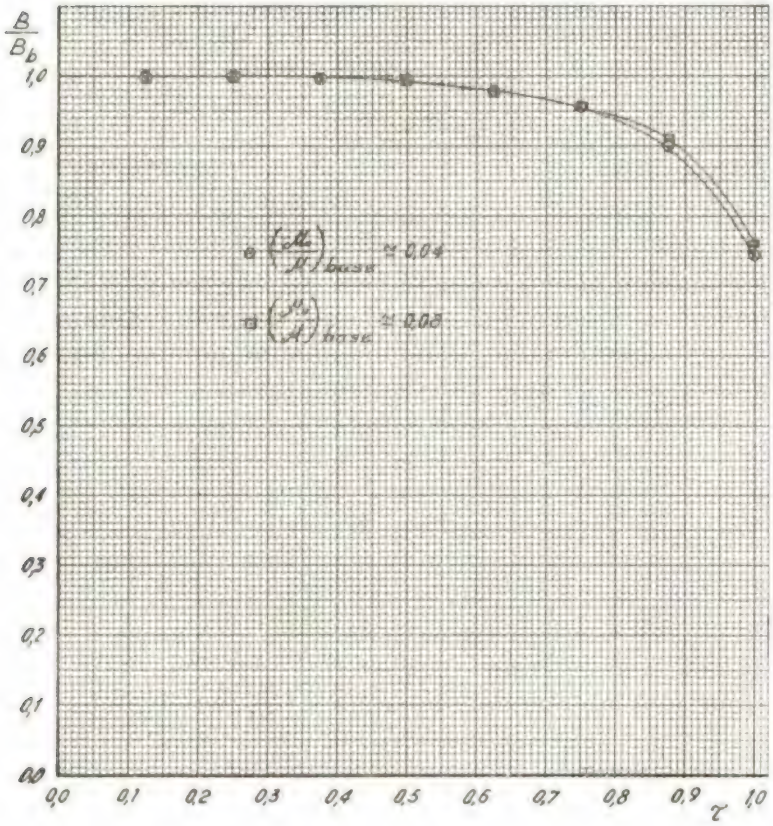
No gráfico das figs. 61, 62 e 63 indicam-se os valores obtidos para a variação da indução ao longo do dente, para as seguintes condições:

$$\frac{a}{d} = 4{,}5$$

$$\frac{h}{d} = 9$$

$$\frac{b}{a} = 1{,}5;\ 1{,}0;\ 0{,}5$$

$$\frac{p}{a} = 1$$



$\frac{b}{a} = 1{,}5$ $\frac{a}{d} = 4{,}5$ $\frac{h}{d} = 2$ $\frac{p}{a} = 1$

Fig. 61

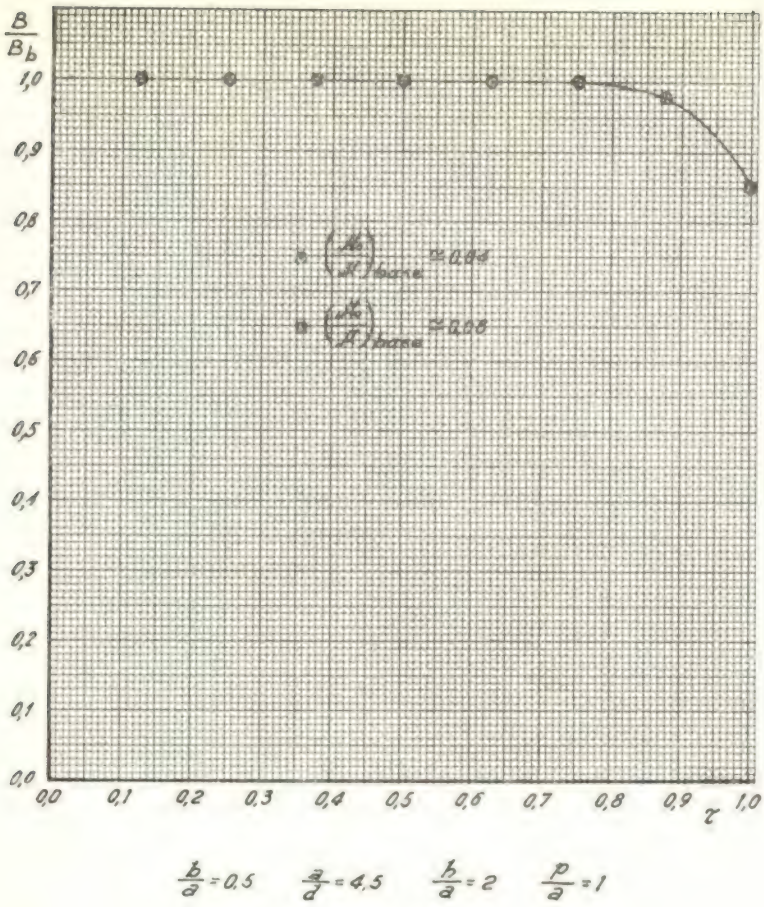


Fig. 62

À excepção da vizinhança do topo, a variação da indução é relativamente pequena, o que não significa, no entanto, que, em virtude de elevada elasticidade de $\frac{\mu_0}{\mu}$ em relação a B, lhe não corresponda uma variação sensível da permeabilidade.

Normalmente as perdas, num elemento de volume d v, em que a indução magnética seja B = f (t), sendo t o tempo, são do tipo

161) $$dv \, . \sum_i K_i \, B_i^{n_i} \, ,$$

sendo B_i ou a amplitude máxima da variação de B no tempo (suposta periódica) ou a amplitude de uma harmónica genérica no tempo do espectro de B em série de Fourier, e sendo $n_i \sim 2$.

Para as dimensões ensaiadas, e no que respeita à aproximação que interessa considerar para cálculo das perdas, verificou-se que a lei de variação de B_r (1) ao longo do dente é aproximadamente a mesma para $\frac{\mu_0}{\mu} = 0{,}04$ e $\frac{\mu_0}{\mu} = 0{,}08$, dependendo acentuadamente de $\frac{b}{a}$. Aproxima-se tanto mais da distribuição uniforme quanto menor $\frac{b}{a}$, o que seria de prever.

Tomando como unitária a altura do dente, isto é, considerando $\frac{B_r}{B_b} = f(\tau)$, não se verifica-

(1) Pode-se, com bastante aproximação, e para efeito do cálculo das perdas magnéticas nos dentes, assimilar a amplitude de **B** à sua componente radial B_r.

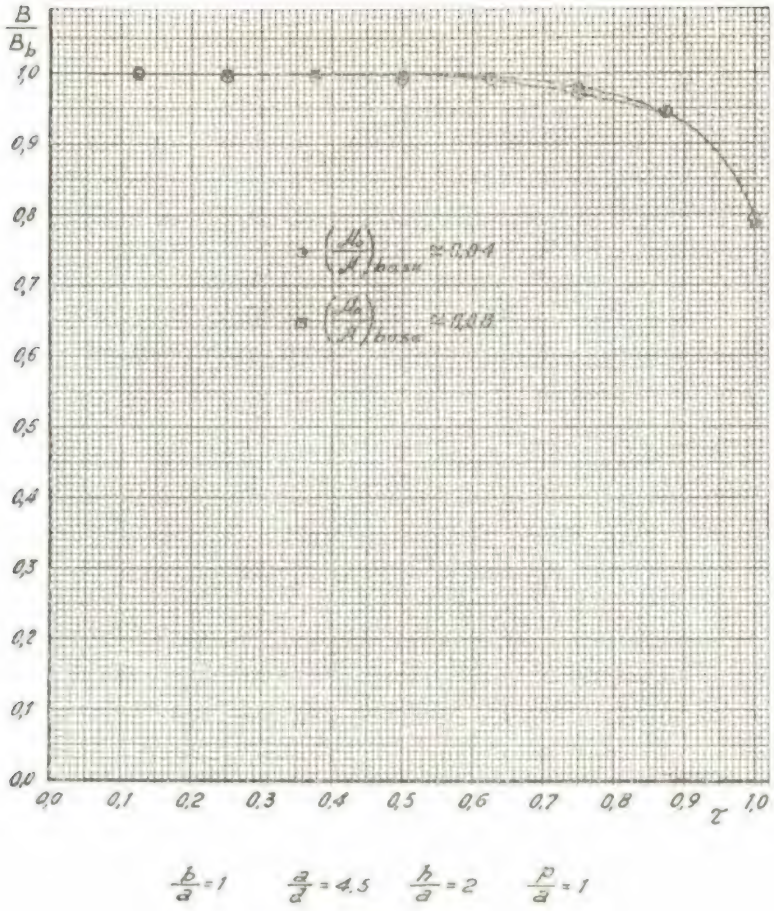


Fig. 63

ram também diferenças muito acentuadas, dentro do domínio das dimensões ensaiadas, para os diversos valores de $\frac{h}{d}$ e $\frac{a}{d}$. Dados estes factos calcularam-se os valores de $\left(\frac{B_r}{B_b}\right)^2$ em função de τ, marcando num mesmo gráfico os referentes a um mesmo valor de $\frac{b}{a}$ e traçando-se uma curva que os interpolasse (fig. 64).

Verificou-se que os pontos obtidos podem ser interpolados satisfatòriamente, e com a aproximação que interessa considerar para o cálculo das perdas, por uma curva do tipo

$$162) \qquad \left(\frac{B_r}{B_b}\right)^2 = 1 - e^{K_1 \tau + K_2},$$

e sendo os seguintes os valores dos parâmetros K_1 e K_2

$\frac{b}{a}$	K_1	K_2
0,5	14,1	— 15,4
1,0	9,5	— 10,5
1,5	7,4	— 8,2

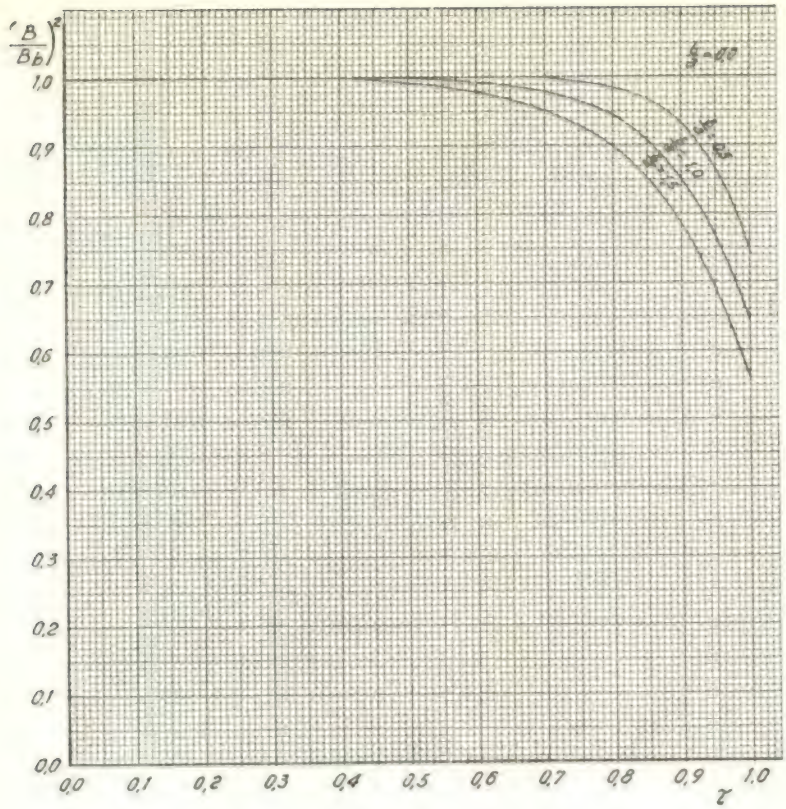


Fig. 64

Sendo as perdas da forma

163) $K B^2$,

a relação entre o valor obtido considerando a relação (162) e pelo processo corrente de cálculo segundo o qual

164) $\left(\frac{B_r}{B_b}\right)^2 = 1$,

é dada por

165) $\Omega = \frac{1}{1 + \Lambda} = 1 - \frac{e^{K_1 + K_2} - e^{K_2}}{K_1} \simeq 1 - \frac{e^{K_1 + K_2}}{K_1}$.

Tomando como base os valores indicados traçou-se o gráfico da fig. 65 que representa um valor aproximado do erro Λ (por excesso) obtido para as perdas magnéticas pelo processo corrente de cálculo, em função de $\frac{b}{a}$, na hipótese de as perdas serem da forma (163).

Se as perdas forem do tipo (161), com $n \neq 2$, o valor da correcção a considerar é aproximadamente igual ao produto por $\frac{n}{2}$ da correcção na hipótese de ser $n = 2$.

Portanto, para $\frac{p}{a} \simeq 1$, dimensões da ordem das ensaiadas e $\frac{\mu_0}{\mu} \sim 0{,}04$ a $0{,}08$, e para ter em conta a diminuição de fluxo na vizinhança do topo do dente, o valor das perdas magnéticas obtido pelo processo corrente de cálculo deverá ser multiplicado por

166) $\Omega = \frac{1}{1 + \frac{n}{2} \Lambda \cdot 10^{-2}}$,

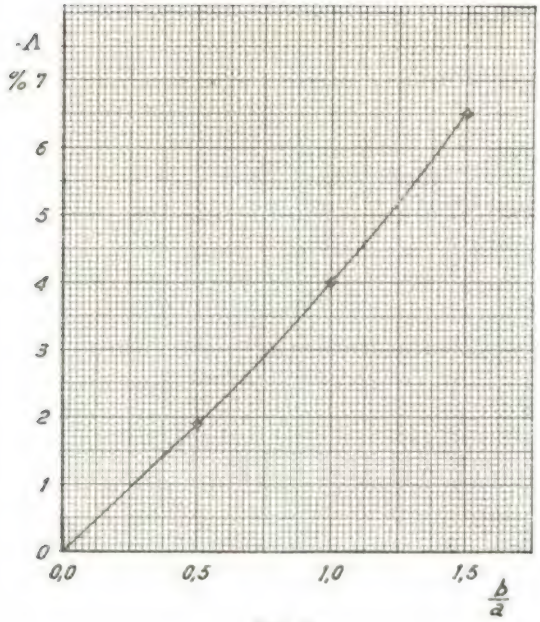


Fig. 65

sendo o valor de Λ (em percentagem) obtido a partir do gráfico da fig. 65, em função de $\frac{b}{a}$.

8 Cálculo das perdas magnéticas na região do topo do dente, na hipótese de não estar saturada

Na hipótese de a região do topo do dente não estar saturada, o erro cometido ao calcular a sua relutância magnética é desprezável. No entanto, no que respeita ao cálculo das perdas magnéticas, que, mesmo para induções inferiores à de saturação, não são desprezáveis, o processo corrente de cálculo conduz a erros sensíveis. Uma forma de reduzir grandemente esse erro será considerar a variação do fluxo ao longo do dente que corresponde à hipótese da permeabilidade infinita. Com efeito esta variação de fluxo pode-se assimilar à existente para valores de indução para os quais não sejam sensíveis os efeitos da saturação.

Considere-se a expressão (137)

$$137) \qquad z = \frac{b}{\pi} \text{ arc sen } w + \frac{2\,d}{\pi} \text{ arg sh} \left\{ 2\,d \left[\frac{b^2}{w^2} - (b^2 + 4\,d^2) \right]^{-\frac{1}{2}} \right\}.$$

Para $w = u + j\,0$, sendo $u > 1$, vem ,

$$167) \qquad z = x + j\,y = \frac{b}{2} + j \left\{ \frac{b}{\pi} \text{ arg ch } u + \frac{2\,d}{\pi} \text{ arc sen} \left[2\,d \left(b^2 + 4\,d^2 - \frac{b^2}{u^2} \right)^{-\frac{1}{2}} \right] \right\}.$$

Sendo

$$168) \qquad \varepsilon = 2\,\frac{d}{b}$$

e

$$169) \qquad \gamma = (1 + \varepsilon^2)^{-\frac{1}{2}},$$

ter-se-á (1)

$$170) \qquad x = \frac{b}{2}$$

(1) «Vide» 2 .

$$171)\quad y = \frac{b}{\pi}\left\{\arg \operatorname{ch} u + \varepsilon \operatorname{arc\,sen}\left[\varepsilon\left(\varepsilon^2 + 1 - \frac{1}{u^2}\right)^{-\frac{1}{2}}\right]\right\}$$

$$172)\quad W_r = K \log \frac{u+\gamma}{u-\gamma}$$

$$173)\quad W_i = K\,(2\,n+1)\,\pi\,,$$

sendo n inteiro.

Estas equações exprimem, sob a forma implicita, W em função de y, para $x = \frac{b}{2}$ e $y \geqslant d$, ou seja, ao longo da superfície de separação da cava e do dente.

A equação (172) pode pôr-se sob a forma

$$174)\quad \frac{W_r}{2\,K} = \arg \operatorname{th} \frac{\gamma}{u}\,,$$

ou

$$175)\quad u = \gamma\left(\operatorname{th} \frac{W_r}{2\,K}\right)^{-1},$$

e portanto de (170), (171) e (172) resulta que

$$170)\quad x = \frac{b}{2}$$

$$176)\quad y = \frac{b}{\pi}\left\{\arg \operatorname{ch}\left[\gamma\left(\operatorname{th} \frac{W_r}{2\,k}\right)^{-1}\right] + \varepsilon \operatorname{arc\,sen}\left\{\varepsilon\left[\varepsilon^2 + 1 - \gamma^{-2}\left(\operatorname{th} \frac{W_r}{2\,k}\right)^2\right]^{-\frac{1}{2}}\right\}\right.$$

A diferença entre os valores de W_r correspondentes a dois valores de y, y_1 e y_2, é proporcional ao fluxo do tubo de força definido por y_1 e y_2. Nestas condições, e na medida em que a distribuição do campo no ar seja assimilável à correspondente ao caso ideal em que é válida a expressão considerada (permeabilidade do ferro infinita, profundidade da cava infinita e largura do dente infinita), a partir da lei de variação de W_r poder-se-á obter a lei de variação do fluxo ao longo dente. Pode-se assim determinar a lei da variação da indução média, e portanto calcular as perdas, com aproximação satisfatória.

Para $y = 0$, tem-se, a partir de (135), (136) e (137),

$$177)\quad \lim_{\left\{\substack{x \to \infty \\ y = 0}\right.} \frac{\partial W_r}{\partial x} = K \cdot \frac{\pi}{d}\,.$$

Por outro lado, tomando como unitária a relutância da porção de um tubo de fluxo elementar de espessura unitária e de comprimento igual à largura ($ds = dS$), e como unitária a diferença de potencial entre o polo e o dente, este limite tem o valor $\frac{1}{d}$. Será, nessas condições,

$$178)\quad K = \frac{1}{\pi}\,.$$

Ao fluxo total corresponderá assim um acréscimo de W_r

$$179)\quad \frac{t - \alpha b}{2d} = \frac{1}{\varepsilon}\left[\frac{a}{b} + 1 - \alpha\right],$$

sendo α o coeficiente definido em 2. Portanto a diferença entre o fluxo numa secção definida por um valor genérico de y (fig. 66) e o fluxo total, referida a este último, será (1)

$$180) \quad \varphi = \frac{\varepsilon W_r}{\frac{a}{b} + 1 - \alpha} .$$

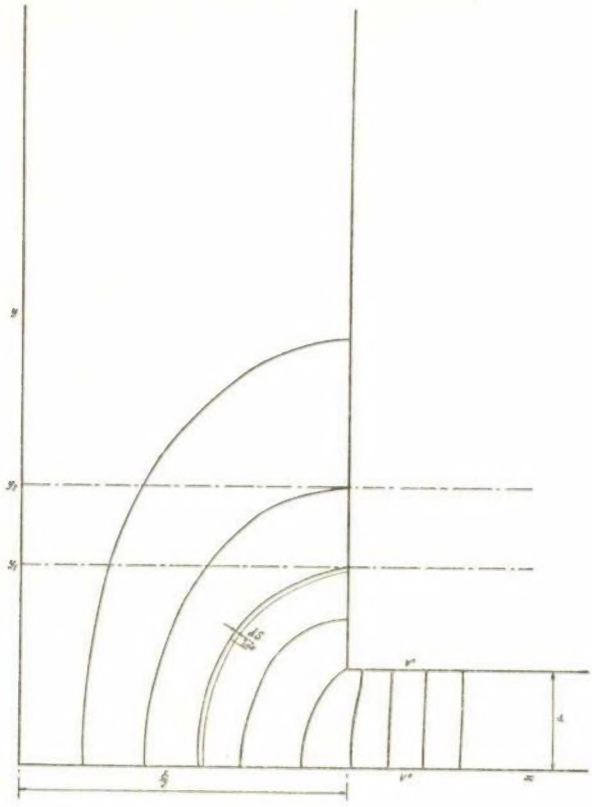


Fig. 66

A partir das equações (171) e (172), ou da equação (176), pode-se determinar $W_r = W_r(y)$ e tem-se assim φ em função dos parâmetros definidores das dimensões relativas do dente, cava e entreferro, e de y.

Sendo S a secção do dente correspondente a y e Φ o fluxo total, o valor médio B_r da componente radial da indução nessa secção será

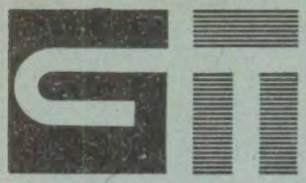
$$181) \quad B_r = \frac{\Phi}{S} (1 - \varphi) .$$

À excepção do canto do dente, o campo é aproximadamente radial. Na medida em que sejam válidas as hipóteses atrás indicadas, pode, para efeito do cálculo das perdas, assimilar-se o valor da indução ao valor médio da sua componente radial. Este cálculo, se efectuado para cada caso a partir das expressões analíticas atrás indicadas, seria bastante moroso. Apresentamos ábacos correspondentes à equação (176), a partir dos quais o cálculo não é sensìvelmente mais trabalhoso que pelo processo usual.

O processo que indicamos é aplicável na hipótese de a permeabilidade da região do topo do dente (num comprimento bastante superior à largura da cava) ser suficientemente elevada para que a

(1) Para $x = 0$, $y = 0$, tem-se $W_r = 0$.

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, LDA.

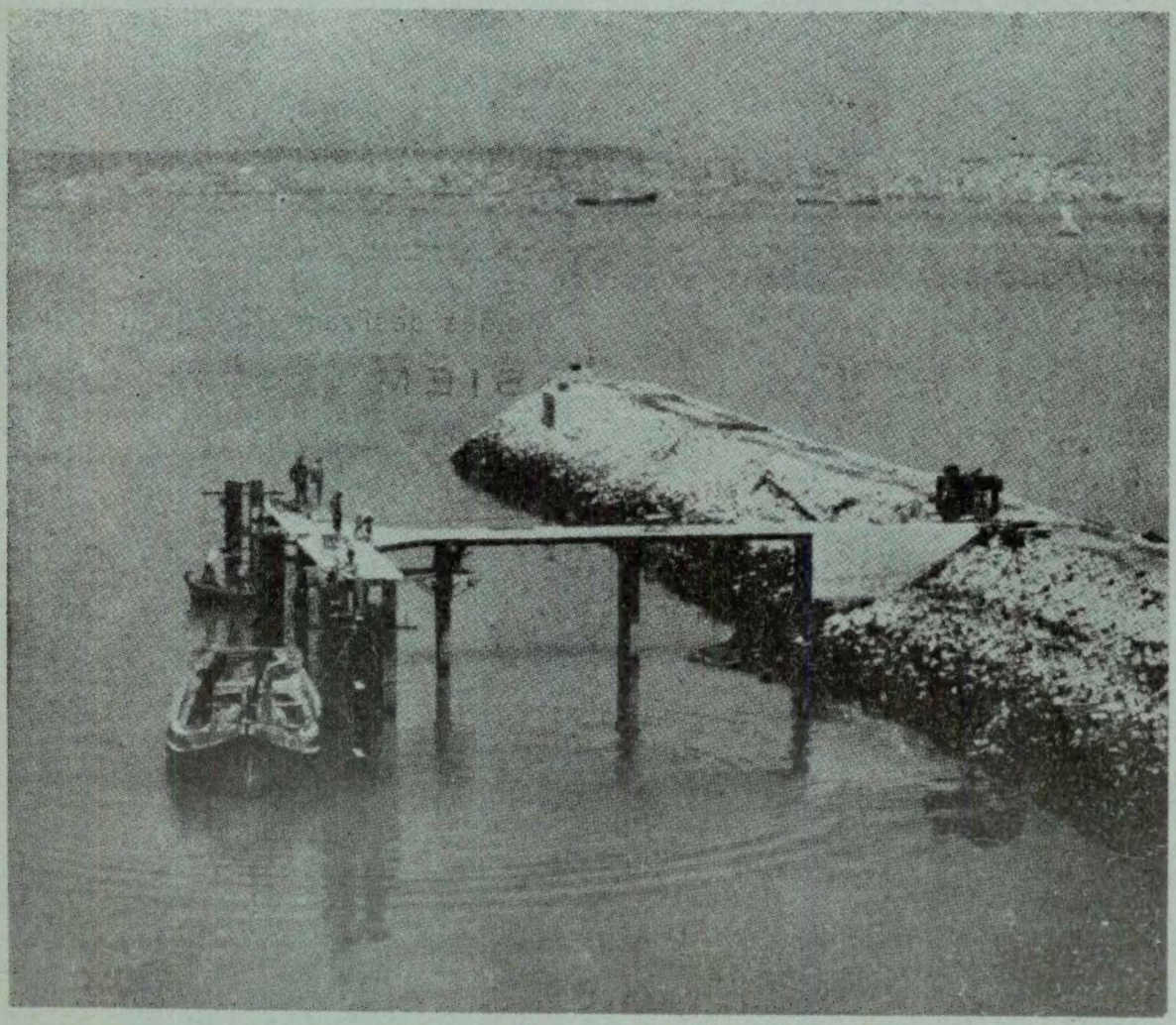


PRAÇA DO MUNICÍPIO, 13-3º - LISBOA-2

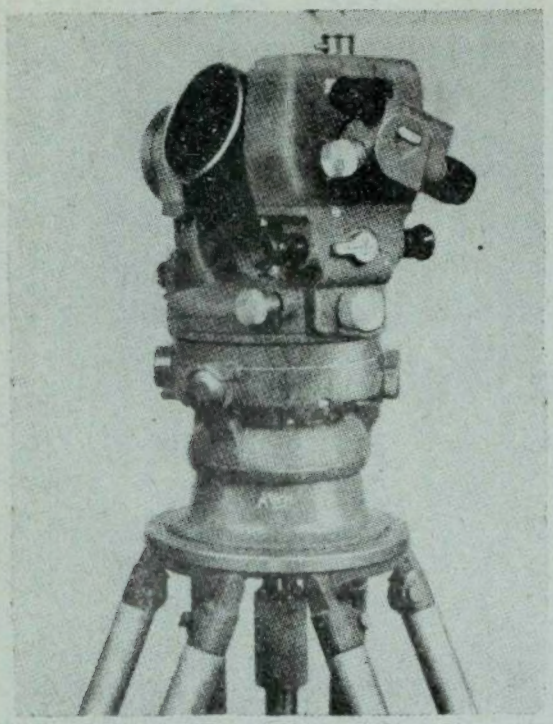
TEL. 36 65 06

SONDAGENS • FUNDAÇÕES • TRABALHOS MARÍTIMOS

PONTES E ESTRUTURAS



Posto de Acostagem para petroleiros de 2750 toneladas
União Fabril do Azoto — Barreiro



DKM 3

Grande teodolito de triangulação para trabalhos importantes

Construção moderna: Construção compacta, peso reduzido, óculo de lente espelhada de imagem direita, micrómetro óptico de grande precisão, de leitura clara.
Grande precisão: Leitura directa do círculo 0,5cc/0,5'', estimativa 0,1cc/0,1''.
Emprego múltiplo: Triangulações de 1ª e 2ª ordem, medições de deformação em construções, levantamentos de precisão, determinações astronómicas de azimute, lugar e tempo.

Kern & Co. S.A. Aarau Suiça

Representantes para Portugal:
E. de Azevedo Campos & Cia., Lda
Rua Santo António, 137, Porto
Rua Antero de Quental, 17, Lisboa

Kern SWISS

Moldes deslizantes sistema

«SIEMCRETE»

CONSTRUÇÃO DE

SILOS
PILARES
CHAMINÉS
RESERVATÓRIOS ELEVADOS
CAIXAS DE ESCADA E DE ELEVADORES

Assistência técnica de SIEMENS - BAUUNION G. m. b. H. (Munique)

Licenciados em exclusivo para Portugal:

AGRO-MECÂNICA, LDA. — Rua Rodrigo da Fonseca, 62, r c D.to — LISBOA 1